

明 細 書

面発光レーザダイオードおよびその製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、面発光レーザダイオードおよびその製造方法に関する。

背景技術

[0002] 面発光レーザダイオード(面発光レーザダイオード)は、基板に対して垂直方向に光を出射する半導体レーザであり、端面発光レーザダイオードに比べて低コストで高性能が得られることから、光インターコネクションなどの光通信の光源、光ピックアップ用の光源、画像形成装置の光源など、民生用途で用いられている。

特許文献1:特開2002-164621

特許文献2:特開平9-107153号公報

特許文献3:特開2001-60739

特許文献4:特開2001-168461

非特許文献1:IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 10, No. 12, pp. 1676-1678, 1998(東工大)

非特許文献2:IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 12, No. 6, pp. 603-605, 2000(Wisconsin Univ.)

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0003] このような用途の面発光レーザダイオードでは、活性層の利得が大きく、低いしきい値を有し、高出力であって、信頼性に優れ、偏光方向が制御されていることが求められる。

[0004] 特に、面発光レーザダイオードは、活性層体積が小さいため、端面発光レーザダイオードと比較して、光出力が小さく、出力の増大が求められる場合が多い。この光出力を増大させる方法の一つは、発光部の温度上昇を抑制する対策を行うことである。

[0005] まず、典型的な面発光レーザダイオードの素子構造を説明し、熱対策について述べる。

- [0006] 図1は一般的な面発光レーザダイオードの構成例を示す図である。なお、図1は、InGaAs/GaAsを活性層にもち、AlAs層を選択酸化して電流狭窄構造とした面発光レーザダイオードの例となっている。
- [0007] 図1に示す一般的な面発光レーザダイオードは、次のように作製される。
- [0008] すなわち、MOCVD法やMBE法により、n-GaAs単結晶基板11上に、n-AlGaAs/n-AlGaAs下部半導体多層膜反射鏡(DBR:分布ブラッグ反射鏡)12、下部GaAsスペーサ層13、AlGaAs/AlGaAs-MQW活性層14、上部AlGaAsスペーサ層15、AlAs被選択酸化層16、p-AlGaAs/p-AlGaAs上部半導体多層膜反射鏡(DBR)を順次に積層して積層膜を形成する。
- [0009] 次に、前記積層膜をドライエッチング法によりメサ形状に加工する。このとき、エッチング面は下部半導体DBR12中に達するようにすることが一般的である。
- [0010] 次に、前記ドライエッチングにより側面が露出したAlAs被選択酸化層16を、水蒸気中で熱処理し、周辺を酸化して Al_xO_y の絶縁物層に変化させ、素子駆動電流の経路を中心部の酸化されていないAlAs領域だけに制限する電流狭窄構造を形成する。
- [0011] 続いて、前記メサ構造の周辺を絶縁膜18で埋め込み、所定の個所にp側電極19、n側電極20を形成して、図1の面発光レーザダイオードを作製することができる。
- [0012] ところで、このような面発光レーザダイオードでは、活性層14からの放熱を良くするためには、メサの高さを低くし基板への熱抵抗を小さくすることが望ましい。しかし、ドライエッチング法によるメサ形成工程では、エッチング深さのバラツキが±10%以上になることは稀ではなく、試料内でのエッチング深さのバラツキを勘案すると、メサの高さを必要な高さ以上に設定せざるをえない。
- [0013] 特許文献1には、さらに熱抵抗を小さくする構成が示されている。
- [0014] 特許文献1に示されている構成では、下部半導体DBR中の下側の大部分のDBRの低屈折率層に、AlGaAsよりも熱伝導性が格段によいAlAsを用いている。なお、下部半導体DBRの上側の低屈折率層では従来のAlGaAsを用いている。この理由は、もしも、エッチング面が下側AlAs-DBR中に達すると、後工程のAlAs被選択酸化層の酸化工程時に、メサ側壁に露出している下側AlAs-DBRのAlAs層の端

面からも同時に酸化が進み、素子中の活性部が絶縁されてしまう、あるいは素子抵抗が増大する事態が生じるからである。このような事態が生じるのは、AlGaAsの酸化速度がAl組成に大きく依存し、Al組成が大きいほど酸化速度が大きいいため、そして、AlAsでは最も酸化速度が大きいためである。

- [0015] これを防ぐため、特許文献1では、酸化速度が小さいAlGaAsを用いた上側AlGaAs-DBRを設け、エッチング底面をこの上側AlGaAs-DBR中に位置するように制御し、下側AlAs-DBRのAlAs端面の露出を回避している。このような上側AlGaAs-DBRのペア数は、特許文献1に示されているように全体の4/7以下が好ましく、特に10ペア以内とするのが好ましい。
- [0016] しかし、エッチング時間の管理によりエッチング底面を、10ペア程度の上側AlGaAs-DBR中に位置するように制御する場合は、歩留まりの低下が著しく、上側AlGaAs-DBR中のエッチング底面位置に大きなバラツキが生じる問題が生じる。
- [0017] よって、歩留まり良くこれらの熱対策の効果を得るには、ドライエッチング法によるメサ形成工程の制御が重要になる。このためには、エッチングモニタを行うのが好ましい。
- [0018] ドライエッチングのモニタ法としては、プラズマ発光分光法と、被エッチング試料表面に光を照射しその反射光の強度をモニタして膜の干渉強度の変化からエッチング深さを検出する方法が知られているが、覗き窓の特別の配置が必要でなく、方式が確立していて、計測機器も市販されていることを勘案すると、プラズマ発光分光法を用いることが望ましいと考えられる。
- [0019] このプラズマ発光分析法を使ったモニタ方式の場合、Gaの417nmの発光強度か、Gaの417nmの発光強度とAlの396nmの発光強度との比の時間変化をモニタすることにより、半導体膜組成に対応した発光強度変化が検出できる。面発光レーザダイオードの積層構造のように2種の組成の層の繰り返しが大部分である試料の場合は、この発光強度変化は振動波形となる。
- [0020] しかし、特にGaAs活性層のレーザ発振波長(850nm程度)以下の短い発振波長をもつ面発光レーザダイオードの半導体膜の場合は、Ga組成やGa/Al組成比の変化が小さく、また波長に応じてDBRや共振器の膜厚が小さくなるため、プラズマ発

光分光法では前記の振動波形の振幅が小さくなりモニタが容易でない。さらに、被エッチング試料が大きい場合、試料内のエッチング速度分布の影響により、モニタが困難となる問題が生じる。

- [0021] ところで、850nm帯、980nm帯の面発光レーザダイオードでは、活性層への良好なキャリア閉じ込めが得られることが知られている。
- [0022] 例えば850nm帯の面発光レーザダイオードでは、量子井戸活性層にGaAsが用いられ、障壁層やスペーサ層(クラッド層)にAlGaAsが用いられている。また、このような850nm帯の面発光レーザダイオードでは、高性能なAlGaAs系反射鏡(DBR)と、Al酸化膜を利用した電流狭窄構造とを使うことができるので、実用レベルの性能が実現されている。
- [0023] また、このような面発光レーザダイオードの偏光制御についても、光出射方向から見た活性層の外周形状に異方性を持たせる方法など、多数の提案がなされている。中でも、非特許文献1には、(311)B基板、つまり(100)から(111)B面方向に25°傾斜した、いわゆるオフ基板を用いることで、傾斜した方向の光学的利得を増大させ、このような光学利得異方性により偏光制御を実現できることが示されている。また、(311)A基板も同様な効果があることが示されている。
- [0024] しかしながら、この非特許文献1の技術では、大きく傾斜した(311)B基板上への結晶成長は、(100)基板上への結晶成長に比べて難しく、さらに、(311)A基板上への結晶成長は、より一層困難であるという欠点がある。
- [0025] また、いずれの基板の場合も、基板が大きく傾斜しているので、基板の価格が2倍以上に増大すること、へき開が困難で、扱いにくいなどの欠点がある。
- [0026] 一方、850nmよりも短波長帯の面発光レーザダイオードは、量子井戸活性層にAlを添加し、そのバンドギャップを増大させることにより実現されている。
- [0027] 例えば、量子井戸活性層にAlを組成比で12%程度添加した、780nm帯の面発光レーザダイオードが提案されている。
- [0028] しかし、このような850nmよりも短波長帯の面発光レーザダイオードでは、量子井戸活性層と障壁層やスペーサ層と間のバンド不連続が減少し、活性層中へのキャリア閉じ込め効率が低下してしまい、850nm帯の面発光レーザダイオードに比べて、

良好な温度特性を得るのが困難である問題が生じる。また、活性層に活性なAlが添加されているので、成長中や加工中等に活性層中に酸素が取り込まれやすく、非発光再結合センタが形成され、発光効率や信頼性の低下を招きやすい問題が生じる。

[0029] 特許文献2には、850nmよりも短波長帯の面発光レーザダイオードで非発光再結合センタの形成を抑える目的で、Alフリー活性領域(量子井戸活性層、及びそれに隣接する層)を使った面発光レーザダイオード(780nm帯)が提案されている。

[0030] この従来技術の面発光レーザダイオードでは、量子井戸活性層に引っ張り歪を有するGaAsPが用いられ、また、障壁層に圧縮歪を有するGaInPが用いられ、また、スペーサ層(クラッド層と第1及び第3量子井戸活性層との間の層)に格子整合GaInPが用いられ、また、クラッド層にAlGaInPが用いられている。上記特許文献2の技術によれば、活性領域がAlフリーなので、面発光レーザダイオードの信頼性が改善される。

[0031] 更に、非特許文献2には、活性領域がAlフリーであることによる効果に加えて、活性層の利得を大きくするために、量子井戸活性層に圧縮歪を有するGaInPAsを使い、障壁層に格子整合または引っ張り歪を有するGaInPを使い、スペーサ層(クラッド層と第1及び第3量子井戸活性層との間の層)に格子整合AlGaInPを使い、クラッド層にAlGaInP(スペーサ層よりAl組成大)を使う、780nm帯の面発光レーザダイオードが提案されている。

[0032] 上記非特許文献2の面発光レーザダイオードは、前述した特許文献2の構造に比べて、障壁層が格子整合組成を有し、圧縮歪組成よりも大きなバンドギャップを有するため、キャリア閉じ込め効率が向上している。

[0033] また偏光制御について、特許文献3には、基板の面方位が(100)から(111)A面方向または(111)B面方向に15°乃至40°の範囲内の角度(傾斜角)に傾斜した基板を用い、光学利得異方性を利用し、更に圧縮歪を有するInAlGaAs, InGaAsPよりなる多重量子井戸活性層を採用することで、傾斜した方向の光学的利得を増大させ、偏光制御を行う技術が示されている。

[0034] また、特許文献4には、メサ形状を円形、楕円形または長円形として、長軸の方向を(100)から(111)A面方向または(111)B面方向とする方法が示されている。この場

合、基板として(100)から[110]方向に2° オフした(−5° ~ +5° 含む)面方位を有するものを使う。これはA面、B面方向へ傾斜した基板ではないことに注意すべきである。

- [0035] しかしながら、従来では、活性層の利得が大きく低いしきい値を有し、高出力であつて、信頼性に優れ、偏光方向が制御された850nmよりも波長の短い面発光レーザダイオードは実現されていない。
- [0036] すなわち、特許文献2では、活性領域がAlフリーなので信頼性が改善されるが、偏光制御方法が示されていない。また、非特許文献2では、キャリア閉じ込めが良好な構造であるが、偏光制御方法が示されていない。また、特許文献3では、偏光方向の制御が可能となるが、信頼性や、材料の特質にあった構成について、何ら考慮されていない。また、特許文献4では、偏光方向を制御できるが、850nmよりも波長の短い面発光レーザダイオードにおいて、高利得、長寿命化について、何ら考慮されていない。
- [0037] さらに、非特許文献2に記載されているように、上下の反射鏡で挟まれた共振器領域を形成する材料として、(Al)GaInP系材料を用いた場合、共振器領域とAlGaAs系材料とで構成された上部反射鏡との界面では、AlGaAs層へのInのキャリアオーバーなど、Inの分離(segregation)が生じ、しきい値電流の大幅増加が生じてしまう不都合が生じるのが知られている。
- [0038] さらに、4元混晶であるAlGaInPは熱抵抗が大きく、また(Al)GaInP系材料では、p型ドーパントとして使われるZn(亜鉛)が拡散し易い問題が生じる。
- [0039] このように、従来では、活性層の利得が大きく、低いしきい値を有し、高出力であつて、信頼性に優れ、偏光方向が制御された850nmよりも波長の短い面発光レーザダイオードは実現されていない。
- [0040] そこで本発明は、半導体分布ブラッグ反射鏡(DBR)中のGa組成やGa/Al比の変化が小さく、かつ放熱性を向上させた面発光レーザダイオードにおいて、レーザ積層構造をエッチングしてメサ構造を形成する際に、エッチングの制御性を向上させることができる構成を提供すること、および、かかる構成により、高出力動作が可能な面発光レーザダイオードを提供することを課題とする。

- [0041] これに加え、本発明は特に850nmよりも波長の短い面発光レーザダイオードにおいて、信頼性に優れた面発光レーザダイオード、および活性層の利得が大きく、低いしきい値を有する高出力面発光レーザダイオードを提供することを課題とする。
- [0042] また本発明は、特に850nmよりも波長の短い面発光レーザダイオードにおいて、信頼性に優れ、活性層の利得が大きく、低いしきい値を有し、高出力であり、さらに、偏光方向が制御された面発光レーザダイオードを提供することを課題とする。
- [0043] 更に本発明は、上記面発光レーザダイオードが集積された面発光レーザダイオードレイおよび画像形成装置および光ピックアップシステムおよび光送信モジュールおよび光送受信モジュールおよび光通信システムを提供する。

課題を解決するための手段

- [0044] 本発明は第1の側面において、
半導体基板と、
レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性層および障壁層を含む活性層構造部と、前記活性層構造部の近傍に設けられ、少なくとも1種類の材料よりなるスペーサ層とよりなり、前記半導体基板上に形成された共振器領域と、
前記半導体基板上において前記共振器領域の上部および下部に設けられた上部反射鏡および下部反射鏡と、
よりなる面発光レーザダイオードであって、
前記共振器領域、前記上部反射鏡および前記下部反射鏡は、前記半導体基板上においてメサ構造を形成し、
前記上部反射鏡および下部反射鏡は、屈折率が周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡を構成し、
前記半導体分布ブラッグ反射鏡の少なくとも一部は、 $\text{AlGa}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$) よりなる屈折率が小なる層と、 AlGa_yAs ($0 \leq y < x \leq 1$) よりなる屈折率が大なる層とから構成され、
前記下部反射鏡は、低屈折率層がAlAsよりなる第1下部反射鏡と、第1下部反射鏡の上に形成され、低屈折率層がAlGaAsよりなる第2下部反射鏡とから構成され、
前記共振器領域を構成するいずれかの層は、Inを含んでいる面発光レーザダイオ

ードを提供する。

[0045] 本発明は、第2の側面において、

(111)A面方向に 5° 乃至 20° の範囲内の角度で傾斜した面方位を有する(100)GaAs基板と、

レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸層活性と障壁層とよりなる活性層構造部と、前記活性層構造部の近傍に設けられ、少なくとも1種類の材料よりなるスペーサ層とを含み、前記GaAs基板上に形成される共振器領域と、

前記共振器領域の上部および下部に設けられた上部反射鏡および下部反射鏡とよりなり、

前記共振器領域と、前記上部および下部反射鏡とは、前記GaAs基板上においてメサ構造を形成し、

前記上部反射鏡および下部反射鏡は、屈折率が周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡よりなり、

前記半導体分布ブラッグ反射鏡の少なくとも一部は、 $\text{AlGa}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$)よりなる屈折率が小なる層と、 AlGa_yAs ($0 \leq y < x \leq 1$)よりなる屈折率が大なる層とより構成され、

前記スペーサ層の一部は $(\text{AlGa}_{1-a})\text{In}_b\text{P}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$)よりなり、

前記量子井戸活性層は $\text{GaIn}_{1-c}\text{PAs}_d$ ($0 \leq c \leq 1, 0 \leq d \leq 1$)よりなり、

前記障壁層は $\text{GaIn}_{1-e}\text{PAs}_f$ ($0 \leq e \leq 1, 0 \leq f \leq 1$)よりなり、

前記量子井戸活性層は圧縮歪を有しており、

前記活性層構造部は、光出射方向から見て(111)A面方向に長い形状異方性を有する面発光レーザダイオードを提供する。

[0046] 本発明は第3の側面において、

半導体基板上に、レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性層と障壁層とを含む活性層構造部、および前記活性層構造部の近傍に設けられ少なくとも1種類の材料よりなるスペーサ層よりなる共振器領域と、前記共振器領域の上部および下部に設けられた上部反射鏡および下部反射鏡とを備えた面発光レーザダイオードの製造方法であって、

前記半導体基板上に、前記下部反射鏡、前記共振器領域および前記上部反射鏡を含む積層構造を形成する工程と、

前記積層膜をドライエッチングによりパターニングしてメサ構造を形成する工程を含み、

前記積層構造を形成する工程は、前記共振器領域を構成するいずれかの層にInを含ませる工程を含み、

前記ドライエッチングによりメサ構造を形成する工程は、Inの発光をモニタすることにより前記メサ構造の高さを制御する工程を含む、面発光レーザダイオードの製造方法を提供する。

[0047] 本発明は第4の側面において、

GaAs基板と、

前記GaAs基板上に形成され、レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性層と障壁層とを有する活性層を含んだ共振器領域と、

前記GaAs基板上、前記共振器領域の上部及び下部にそれぞれ設けられた上部反射鏡及び下部反射鏡と、を含み、

前記上部反射鏡および／または下部反射鏡は半導体分布ブラッグ反射鏡を含み、

前記半導体分布ブラッグ反射鏡の少なくとも一部は、Al, GaおよびAsを主成分として含む半導体層よりなり、

前記活性層とAl, Ga, Asを主成分として含む半導体層との間に、前記Al, Ga, Asを主成分として含む半導体層に接して、Al, In, Pを主成分として含む半導体層を設け、

前記Al, Ga, Asを主成分として含む半導体層と前記Al, In, Pを主成分として含む半導体層との界面が、電界強度分布の節の位置に一致して形成された面発光レーザダイオードを提供する。

[0048] 本発明は第5の側面において、

GaAs基板と、

前記GaAs基板上に形成され、レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性層と障壁層とを有する活性層を含んだ共振器領域と、

前記GaAs基板上、前記共振器領域のそれぞれ上部及び下部に設けられた上部反射鏡及び下部反射鏡と、を含み、

前記上部反射鏡および／または下部反射鏡は半導体分布ブラッグ反射鏡を含み、
前記半導体分布ブラッグ反射鏡の少なくとも一部は、Al, Ga, Asを主成分として含む半導体層よりなり、

前記活性層と前記Al, Ga, Asを主成分として含む半導体層との間に、前記Al, Ga, Asを主成分として含む半導体層に接して、Al, In, Pを主成分として含む $(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})\text{In}_b\text{P}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$)層を設け、

前記 $(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})\text{In}_b\text{P}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$)層には、p型ドーパントとしてMg(マグネシウム)が添加され、

前記Al, Ga, Asを主成分として含む半導体層には、p型ドーパントとしてC(炭素)が添加されている面発光レーザダイオードを提供する。

[0049] また本発明は第6の側面において、

GaAs基板と、

前記GaAs基板上に形成され、レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性層と障壁層とを有する活性層を含んだ共振器領域と、

前記GaAs基板上、前記共振器領域の上部及び下部に設けられた上部反射鏡及び下部反射鏡と、を含み、

前記上部反射鏡および／または下部反射鏡は半導体分布ブラッグ反射鏡を含み、
前記半導体分布ブラッグ反射鏡の少なくとも一部は、Al, Ga, Asを主成分として含む半導体層よりなり、

前記活性層とAl, Ga, Asを主成分として含む半導体層との間で、Al, Ga, Asを主成分として含む半導体層に接して、Al, In, Pを主成分として含む $(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})\text{In}_b\text{P}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$)層を設け、

$(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})\text{In}_b\text{P}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$)層は、AlInPとGaInPとよりなる短周期超格子構造により構成された半導体層であることを特徴とする面発光レーザダイオードを提供する。

[0050] 本発明は第7の側面において、

GaAs基板と、

前記GaAs基板上に形成され、レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性層と障壁層とを有する活性層を含む共振器領域と、

前記GaAs基板上、前記共振器領域のそれぞれ上部及び下部に設けられた上部反射鏡及び下部反射鏡と、を含み、

前記上部反射鏡および／または下部反射鏡は半導体分布ブラッグ反射鏡を含み、

前記半導体分布ブラッグ反射鏡の少なくとも一部は、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$) による低屈折率層と $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 \leq y < x \leq 1$) による高屈折率層とよりなり、

前記上部反射鏡および／または下部反射鏡を構成する前記低屈折率層のうちで少なくとも前記活性層に最も近い低屈折率層は、 $(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})\text{In}_b\text{P}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$) よりなり、

前記共振器領域と前記上部反射鏡および／または下部反射鏡の活性層に最も近い低屈折率層との界面に、電界強度分布の腹が一致する面発光レーザダイオードを提供する。

発明の効果

[0051] 本発明の前記第1の側面によれば、共振器領域を構成するいずれかの層がInを含んでいるため、前記共振器および上部、下部の半導体DBRよりなるレーザ積層構造のメサエッチングの際に、前記In含有層の露出を検出することでメサエッチングの精度と再現性が向上し、下部半導体DBRが放熱性に優れるAlAs/(Al)GaAs-DBRを含む場合であっても、共振器の近傍までAlAs/(Al)GaAs-DBRを設けた構成を実現することができる。かかる構成により、レーザ駆動時の温度上昇が抑制され、温度特性が良好な高出力面発光レーザダイオードが提供される。また同時に、均一性に優れたレーザ特性をもち、加工再現性が良く歩留が良い面発光レーザダイオードを提供できる。

[0052] 特に、共振器領域を構成する層のうち、活性層構造部よりも格段に厚い上部あるいは下部のスペーサ層にInを含ませた場合、メサ構造をより再現性良く、またより高い精度に形成でき、これにより、より温度特性が良好で高出力、さらにより均一性の優れたレーザ特性を有する面発光レーザダイオードを、高い加工再現性と高い歩留で形

成することが可能になる。

[0053] また、前記本発明の第1の側面による面発光レーザダイオードにおいて、前記第2下部反射鏡を構成する半導体DBRを前記10ペア以下の厚さに形成することにより、前記半導体DBRの厚さが、メサエッチングの精度よりも大きく、且つ、最小限に設定される。これにより、駆動時の温度上昇がさらに抑制され、温度特性が良好で高出力な面発光レーザダイオードが得られる。

[0054] さらに、前記本発明の第1の側面による面発光レーザダイオードにおいて、前記スペーサ層の一部を $(\text{AlGa}_{1-a})\text{In}_{1-b}\text{P}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$)より構成し、前記量子井戸活性層を $\text{GaIn}_{1-c}\text{PAs}_{1-d}$ ($0 \leq c \leq 1, 0 \leq d \leq 1$)より構成し、前記障壁層を $\text{GaIn}_{1-e}\text{PAs}_{1-f}$ ($0 \leq e \leq 1, 0 \leq f \leq 1$)より構成し、スペーサ層の一部にAlGaInP材料、すなわち $(\text{AlGa}_{1-a})\text{In}_{1-b}\text{P}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$)を用いることで、スペーサ層をAlGaAs系で形成した場合に比べて、スペーサ層と量子井戸活性層との間のバンドギャップ差を増大させることができ、キャリア閉じ込め効率が向上し、かかる構造に固有の優れた放熱効果と合わせ、更に低いしきい値を有する高出力レーザを実現することができる。

[0055] また、本発明の前記第1の側面による面発光レーザダイオードにおいて、前記障壁層や量子井戸活性層にはGaInPAs材料が用いられており、すなわち、前記量子井戸活性層は $\text{GaIn}_{1-c}\text{PAs}_{1-d}$ ($0 \leq c \leq 1, 0 \leq d \leq 1$)よりなり、また前記障壁層は $\text{GaIn}_{1-e}\text{PAs}_{1-f}$ ($0 \leq e \leq 1, 0 \leq f \leq 1$)よりなることに注意すべきである。すなわち、本発明の第1の特徴によれば、前記量子井戸活性層、及びそれに隣接する層よりなる活性層構造部はAlを含まない。このため、活性層構造部中へのAlによる酸素の取り込み、およびこれに伴う非発光再結合センタの形成が抑制され、長寿命の面発光レーザダイオードを実現できる。

[0056] また、前記第1の側面による面発光レーザダイオードにおいて、前記量子井戸活性層に圧縮歪が蓄積するように、前記量子井戸活性層を圧縮歪組成で形成することにより、キャリア閉じ込め効果に歪の効果が加わり、前記活性層構造部の光利得はさらに増大する。これに放熱効果の向上が合わさるため、しきい値は更に低下する。これにより、極めて高効率、かつ高出力の面発光レーザダイオードを実現することができ

る。また、前記キャリア閉じ込め効率の向上と、前記歪量子井戸活性層の採用による利得増大効果により得られるしきい値の低下に伴い、光取り出し側DBR(上部半導体DBR)の反射率を低減することも可能となり、このような光取り出し側DBRの反射率低減の結果、更なる光出力の増大が可能となる。

[0057] また、前記第1の側面による面発光レーザダイオードにおいて、前記半導体基板は、面方位が(111)A面方向に5°乃至20°の範囲内の角度に傾斜した(100)GaAs基板であるので(すなわち、基板の面方位を考慮し、面方位が(111)A面方向に5°乃至20°の範囲内の角度に傾斜した(100)GaAs基板を用いることで)、自然超格子の形成によるバンドギャップの低下や、ヒロック(丘状欠陥)発生による表面性の悪化や非発光再結合センタの発生など、半導体レーザなどのデバイス特性への悪影響を低減させることができる。

[0058] また、前記第1の側面による面発光レーザダイオードでは、前記半導体基板として、面方位が(111)A面方向に5°乃至20°の範囲内の角度に傾斜した(100)GaAs基板(すなわち、偏光制御について、面方位が(111)A面方向に5°乃至20°の範囲内の角度に傾斜した(100)GaAs基板)を使うので、現在、最有力視されている(311)B基板(25°傾斜に相当)を用いた場合ほどの偏光制御効果を得ることはできず、傾斜基板利用による光学利得異方性は小さくならざるを得ないが、本発明の前記第1の側面による面発光レーザダイオードでは、上記光学利得異方性の低下を、前記量子井戸活性層に圧縮歪を与え、これにより光学利得異方性の増大を誘起することで補償することができ、偏光方向を効果的に制御することが可能となる。すなわち本発明によれば、放熱効率の向上と活性層構造部の利得向上の相乗効果により、低いしきい値を有し、信頼性に優れ、さらに偏光方向が制御された、850nmよりも短い波長で発振する高出力面発光レーザダイオードを実現することができる。

[0059] 次に、本発明の第2の側面によれば、スペーサ層の一部にAlGaInP材料、すなわち $(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})\text{In}_b\text{P}_{1-b}$ ($0 < a \leq 1$, $0 \leq b \leq 1$)を用いることにより、スペーサ層をAlGaAs系で形成した場合に比べて、スペーサ層と量子井戸活性層との間に大きなバンドギャップ差を確保することができ、キャリア閉じ込め効率が向上し、レーザ発振のしきい値を減少させるとともに、出力を増大させることが可能になる。

- [0060] また、前記本発明の第2の側面による面発光レーザダイオードでも、前記障壁層や量子井戸活性層にGaInPAs材料を用いることにより、前記量子井戸層及びそれに隣接する層よりなる活性層構造部がAlを含まない構成となっており、その結果、活性層構造中へのAlによる酸素の取り込みが低減され、非発光再結合センタの形成を抑が抑制される。これにより、長寿命の面発光レーザダイオードが実現される。
- [0061] また本発明では、前記量子井戸活性層を圧縮歪組成とすることで、前記圧縮歪の効果によりレーザ発振のしきい値をさらに低減させ、レーザの効率を向上させ、大きな出力を取り出すことが可能になる。
- [0062] 更に、本発明の前記第2の側面による面発光レーザダイオードでも、活性層構造部中へのキャリア閉じ込め効率の向上と歪量子井戸活性層の採用による利得の向上により、レーザ発振のしきい値がさらに低減され、光取り出し側DBRの反射率の低減が可能となる。これにより、更に高い出力を得ることが可能になる。
- [0063] さらに、本発明の前記第2の側面による面発光レーザダイオードでは、基板の面方位を考慮して、面方位が(111)A面方向に5°乃至20°の範囲内の角度に傾斜した(100)GaAs基板を用いることにより、自然超格子の形成によるバンドギャップの低下や、ヒロック(丘状欠陥)発生による表面性の悪化、さらに非発光再結合センタの発生など、半導体レーザなどのデバイス特性への悪影響を低減させることができる。
- [0064] 本発明の第2の側面による面発光レーザダイオードでは、偏光制御について見ると、先にも述べたように、現在最有力視されている(311)B基板を用いた場合の効果を利用することができず、傾斜基板利用による光学利得異方性は小さくなるが、本発明では、この低下分を量子井戸活性層に圧縮歪を与えることによる光学利得異方性の増大、及び、面発光レーザダイオードの光出射方向から見た活性層の外周形状に異方性を持たせ、特に(111)A面方向に長い形状とすることによる基板傾斜方向((111)A面方向)の光学的利得増大の効果により補償している。これにより、本発明では偏光方向の制御を、極めて容易に行うことができる。
- [0065] このように、本発明の第2の側面による面発光レーザダイオードによれば、活性層構造部の光利得が大きく、レーザ発振のしきい値が小さく、信頼性に優れ、制御された偏光面を有し、かつ850nmよりも波長の短い波長で発振する高出力面発光レーザ

ダイオードを実現することが可能となる。

- [0066] 特に、本発明第2の側面による面発光レーザダイオードにおいて、障壁層に引っ張り歪を蓄積することにより、量子井戸活性層とのバンド不連続を更に増大でき、利得を増大させることが可能となる。これによりレーザ発振のしきい値が低減し、面発光レーザダイオードは高出力動作が可能となる。GaInPAs系材料においては、障壁層を構成する半導体材料は、格子定数を減少させることにより、バンドギャップを増大させることができる。
- [0067] また、本発明の第2の側面の面発光レーザダイオードによれば、発振波長がおおよそ680nmよりも長波長の面発光レーザダイオードを実現することができる。また、AlGaInP系の材料を前記スペーサ層に用いることで、組成波長が680nmよりも長波長であれば、前記量子井戸層および障壁層よりなる活性層をAlを含まない材料により形成した場合であっても、AlGaAs系の活性層による780nm帯の面発光レーザダイオードの場合と同等以上のキャリア閉じ込めを実現することが可能となる。さらに、これに歪量子井戸活性層の効果も加わることから、上記AlGaAs系の活性層を有する780nm帯の面発光レーザダイオードと同等以上の特性を実現することが可能となる。
- [0068] さらに、本発明の第3の側面によれば、半導体基板上に、レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性層と障壁層とを含む活性層構造部、および前記活性層構造部の近傍に設けられ少なくとも1種類の材料よりなるスペーサ層とよりなる共振器領域と、前記共振器領域の上部および下部に設けられた上部反射鏡および下部反射鏡とを備えた面発光レーザダイオードの製造方法において、前記半導体基板上に、前記下部反射鏡、前記共振器領域および前記上部反射鏡を含む積層構造を形成し、前記積層膜をドライエッチングによりパターニングしてメサ構造を形成する際に、前記共振器領域を構成するいずれかの層にInを含ませ、前記ドライエッチングによりメサ構造を形成する際に、Inの発光をモニタして前記メサ構造の高さを制御することにより、前記ドライエッチング工程において前記共振器部を確実に検出でき、これにより、再現性良く、また精度良く、メサ構造を形成することができる。本発明によれば、このような面発光レーザダイオードを、再現性良く、また歩留まり良く製造することが可能になる。

- [0069] 本発明の第4あるいは第7の側面によれば、面発光レーザダイオードにおいて、Al, In, Pを主成分として含む半導体層とAl, Ga, Asを主成分として含む半導体層との界面を電界強度分布の節の位置とすることにより、Al, In, Pを主成分として含む半導体層の上にAl, Ga, Asを主成分として含む半導体層を結晶成長した際に、Inの分離がある程度生じて、前記界面における光学的吸収の影響を大幅に低減でき、In分離によるしきい値増加への悪影響を効果的に抑制することができる。
- [0070] また、本発明の第5あるいは第7の側面によれば、面発光レーザダイオードにおいて、Al, In, Pを主成分として含む半導体層にはp型ドーパントとしてMg(マグネシウム)を添加し、Al, Ga, Asを主成分として含む半導体層にはp型ドーパントとしてC(炭素)を添加することにより、ドーパントの拡散やメモリー効果を低減でき、制御性良くドーピングを行うことが可能となり、設計に近いドーピングプロファイルが得られる、また、活性層の結晶性の低下が抑制され、低いしきい値で、高出力動作する面発光レーザダイオードを容易に実現できる。
- [0071] また、本発明の第6、第7の側面による面発光レーザダイオードにおいて、AlGaInP混晶を、熱抵抗の小さいAlInPとGaInPとで擬似的に構成することにより、放熱が改善され、高出力動作を容易に実現できる。
- [0072] また、本発明の第6、第7の側面によれば、面発光レーザダイオードにおいて、 $(\text{Al}_{1-a}\text{Ga}_b\text{In}_{1-a-b})\text{P}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$) スペーサ層を用いることで、スペーサ層をAlGaAs系で形成した場合に比べ、スペーサ層と量子井戸活性層との間のバンドギャップ差を増大でき、レーザ発振のしきい値が低減され、またレーザ発振の効率が向上し、大出力動作を実現できる。また、量子井戸活性層として $\text{Ga}_c\text{In}_{1-c}\text{P}_d\text{As}_{1-d}$ ($0 \leq c \leq 1, 0 \leq d \leq 1$) を使い、障壁層として $\text{Ga}_e\text{In}_{1-e}\text{P}_f\text{As}_{1-f}$ ($0 \leq e \leq 1, 0 \leq f \leq 1$) を使うことで、Alを含んでいない材料で活性層が構成され、量子井戸活性層及びこれに隣接する層よりなる活性領域がAlフリーとなり、酸素の取り込みが低減でき、非発光再結合センタの形成が抑制され、長寿命の面発光レーザダイオードを実現することができる。すなわち、活性層の利得が大きく、レーザ発振しきい値が低く、信頼性に優れ、850nmより波長の短い高出力面発光レーザダイオードが実現される。
- [0073] また、本発明の第6および第7の側面によれば、面発光レーザダイオードにおいて、

量子井戸活性層を圧縮歪組成とすることにより、歪の効果によりレーザ発振しきい値を低減でき、レーザ発振効率を向上でき、さらには、キャリア閉じ込めの効率の向上と歪量子井戸活性層を使う利得の増大効果により、レーザ発振しきい値はさらに低減され、光取り出し側DBRの反射率を低減することが可能となる。これにより、さらにレーザ出力を増大させることができる。

- [0074] また、本発明の第6および第7の側面によれば、面発光レーザダイオードにおいて、量子井戸活性層の歪を補償することで、より大きな歪の量子井戸活性層を採用できるなど、設計自由度が増大する。更に、GaInPAs系材料において、障壁層となる半導体材料は格子定数が小さい材料の方が大きなバンドギャップを有するので、量子井戸活性層とのバンド不連続を大きくすることができ、利得が増大し、低しきい値動作、高出力動作が可能になる。
- [0075] また、本発明の第7の側面によれば、面発光レーザダイオードにおいて、下部反射鏡が、低屈折率層に熱抵抗の小さいAlAsを含むように構成することにより、活性層で発生する放熱特性が改善し、駆動時の温度上昇が抑制され、温度特性が良好で高出力な面発光レーザダイオードが得られる。
- [0076] また、本発明の第7の側面によれば、面発光レーザダイオードにおいて、半導体分布ブラッグ反射鏡の低屈折率層と高屈折率層の間にAl組成の小さい中間層を挿入することにより、AlGaInP系材料とAlGaAs系材料との接合が容易となる。すなわち($\text{Al}_{1-a}\text{Ga}_a\text{In}_b\text{P}_{1-b}$) $\text{In}_y\text{P}_{1-y}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$)低屈折率層上に $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 \leq y < x \leq 1$)高屈折率層を積層する場合、界面でのAl組成を減少させることにより、高屈折率層の成長が広い条件範囲可能になる。更に、かかる構成により価電子帯のバンド不連続を小さくでき、積層方向に流れる電流に対する抵抗を低減することができる。
- [0077] また、本発明の第6、第7の側面によれば、面発光レーザダイオードにおいて、AlGaInP系スペーサ層を用いることで、組成波長が680nmよりも長波長であれば、Alフリー活性層(量子井戸活性層と障壁層)を用いても、AlGaAs系活性層による780nm面発光レーザダイオードの場合と同等以上のキャリア閉じ込めが可能となる上に、歪量子井戸活性層の効果も加わることから、同等以上の特性を得ることができる。
- [0078] また、本発明の第4～第7の側面によれば、面発光レーザダイオードにおいて、基

板の面方位を考慮し、面方位が(111)A面方向に 5° から 20° の範囲内で傾斜した(100)GaAs基板を用いることにより、自然超格子の形成によるバンドギャップの低下や、ヒロック(丘状欠陥)発生による表面性の悪化や非発光再結合センタの発生による半導体レーザなどのデバイス特性への悪影響を低減させることができ、また異方性基板の性質を利用して偏光制御を行うことができる。すなわち、本発明の面発光レーザダイオードでは、現在最有力視されている(311)B基板を用いた場合の効果を利用することができず、傾斜基板利用による光学利得異方性は小さくならざるを得ないが、この光学利得異方性の低下を、量子井戸活性層に圧縮歪を与えることによる光学利得異方性の増大により補償することで、このような面発光レーザダイオードであっても、偏光面の制御性を向上させることができる。

- [0079] また、本発明の第1～第7の側面によれば、面発光レーザダイオードにおいて、面発光レーザダイオードの光出射方向から見た活性層の外周形状に異方性を持たせ、(111)A面方向に長い形状としたので、基板傾斜方向((111)A面方向)の光学的利得増大の効果を加えることで、偏光方向の制御性をさらに改善することができる。
- [0080] さらに、前記第1～第7の側面による面発光レーザダイオードを、同一基板上に複数個構成形成することにより、面発光レーザダイオードレイを構成することができる。そこで、本発明によれば、メサ形成の精度と再現性が向上し、均一性のよいレーザ特性をもち、加工再現性が良い面発光レーザダイオードレイを、高い歩留まりと低いコストで製造することが可能となる。
- [0081] 特に、前記本発明の第1の側面による面発光レーザダイオードを用いた場合、放熱特性が改善される結果、アレイ内素子間の熱干渉が抑制され、より面発光レーザダイオード素子同士がより近接した、高密度アレイを形成することが可能となる。
- [0082] また、本発明の第1～第7の側面による、高出力動作可能な面発光レーザダイオードを同一基板上に多数集積した構成を、電子写真画像形成装置などの画像書き込み光学系に適用した場合、同時に複数のビームにより、高速書きこみを実現し、書きこみ速度が格段に向上する。また、書きこみドット密度が増大した場合であっても、速度を落とすことなく印刷することができる。また、同一のドット密度で比較すると、かかる面発光レーザダイオードを使った画像形成装置では、従来の画像形成装置よりも

高速での印刷が可能になる。本発明の面発光レーザダイオードを通信に適用した場合、同時に多数ビームによるデータ伝送がなされ、高速通信が実現される。

- [0083] また本発明の面発光レーザダイオードは低消費電力で動作し、このため特に機器中に組み込んで動作させた場合、機器内での温度上昇を低減することができる。
- [0084] さらに、本発明の前記第1～第7の側面による高出力面発光レーザダイオード、または、これらの面発光レーザダイオードレイを書き込み光源として使うことにより、従来の面発光レーザダイオードレイを用いた画像形成装置に比べて印刷速度を向上させること可能となる。
- [0085] あるいは、従来と同速度で印刷する場合には、レーザアレイ数の低減が可能となり、面発光レーザダイオードレイチップの製造歩留まりが大きく向上するとともに、画像形成装置のコストを低減することができる。偏光面を制御できる面発光レーザダイオードを用いた場合、画像形成の信頼性が向上する。また特に、量子井戸層活性層およびスペーサ層よりなる活性層構造部にAlを含まない面発光レーザダイオードを用いた場合、850nm帯面発光レーザダイオードのような通信用面発光レーザダイオードと同等の寿命が達成でき、このため、光書き込み光学ユニット自体の再利用が可能となり、環境負荷低減に貢献できる。
- [0086] また、本発明の第1～第7の側面による面発光レーザダイオード、あるいはこれらを使った面発光レーザダイオードレイを光ピックアップシステムの光源として使うことにより、バッテリー寿命の長いハンディータイプ光ピックアップシステムを実現できる。従来、コンパクトディスク装置では、記録媒体の光書込および再生に、波長が780nmの半導体レーザが使われているが、面発光レーザダイオードは端面発光レーザダイオードに比べて1桁程度消費電力が小さいことに注意すべきである。
- [0087] また、本発明の第1～第7の側面による面発光レーザダイオード、あるいはこれらの面発光レーザダイオードレイを光送信モジュールあるいは光送受信モジュールの高出力光源として使うことにより、安価なPOF(プラスチックファイバ)を用いた経済的な高速光伝送システムを構築することができる。
- [0088] アクリル系POFを用いた光伝送では、その吸収損失特性に鑑み、従来650nmの発振波長の面発光レーザダイオードが光源として検討されているが、高温特性が悪

く実用になっていない。このため現状では、LEDが使われているが、LEDでは高速変調が困難で、1Gbpsを越えた高速伝送実現のためには、半導体レーザが必要である。

- [0089] 波長が680nmより長波長の本発明の面発光レーザダイオードでは、活性層利得が大きいので、出力が大きく、また高温特性にも優れているため、かかる面発光レーザダイオードを使うことにより、ファイバによる吸収損失は増大するが、短距離の光伝送は可能であり、安価な光源である面発光レーザダイオードに、安価なPOFを組み合わせた、経済的な高速光送信モジュールあるいは光送受信モジュール、さらにはこれらを使った光通信システムが実現される。このような光通信システムは極めて経済的であり、特に一般家庭やオフィスの室内、機器内などの光通信システムに用いるのに適している。

図面の簡単な説明

- [0090] [図1]一般的な面発光レーザダイオードの構成例を示す図である。
[図2]第1の形態の面発光レーザダイオードの基本構成例を示す図である。
[図3]実施例1の面発光レーザダイオードの構成を示す図である。
[図4]実施例1におけるIn(451nm)/Al(396nm)発光強度比の時間変化を示す図である。
[図5]実施例5の面発光レーザダイオードの構成を示す図である。
[図6]実施例6の面発光レーザダイオードを示す図である。
[図7]実施例6の面発光レーザダイオードを示す図である。
[図8]実施例7の面発光レーザダイオードの上面図である。
[図9]実施例8の面発光レーザダイオードを示す図である。
[図10]実施例9の面発光レーザダイオードレイを示す図である。
[図11]実施例10の光送信モジュールを示す図である。
[図12]実施例11の光送受信モジュールを示す図である。
[図13]実施例12のレーザプリンタを示す図である。
[図14]図13のレーザプリンタに用いられる面発光レーザダイオードレイチップ(16ビームVCSELアレイ)の概略構成を示す図(上面図)である。

[図15]本発明の第12の実施形態における第一の構成例の一部を示す原理的断面図である。

[図16]本発明の第12の実施形態における第二の構成例の一部を示す原理的断面図である。

[図17]本発明の第13の実施形態の構成例を示す原理的断面図である。

[図18]図17の活性層周辺構造を抽出して拡大して示す断面図である。

[図19]図17の一部の平面図である。

[図20]本発明の第14の形態の活性層周辺構造を抽出して拡大して示す断面図である。

[図21]第17, 第18の実施形態においてAlGaInP層が上下の反射鏡で挟まれた共振器領域中に設けられた場合の面発光レーザダイオードの活性層の周辺断面構造の例を示す図である。

[図22]本発明の第21の実施形態の面発光レーザダイオードの構成例を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

[0091] 以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。

(第1の実施形態)

本発明の第1の実施形態によれば、半導体基板と、レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性層および障壁層を含む活性層構造部と、前記活性層構造部の近傍に設けられ、少なくとも1種類の材料よりなるスペーサ層とよりなり、前記半導体基板上に形成された共振器領域と、前記半導体基板上において前記共振器領域の上部および下部に設けられた上部反射鏡および下部反射鏡と、よりなる面発光レーザダイオードであって、前記共振器領域、前記上部反射鏡および前記下部反射鏡は、前記半導体基板上においてメサ構造を形成し、前記上部反射鏡および下部反射鏡は、屈折率が周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡を構成し、前記半導体分布ブラッグ反射鏡の少なくとも一部は、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$) よりなる屈折率が小なる層と、 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 \leq y < x \leq 1$) よりなる屈折率が大なる層とから構成され、前記下部反射鏡は、低屈折率層がAlAsよりなる第1

下部反射鏡と、第1下部反射鏡の上に形成され、低屈折率層がAlGaAsよりなる第2下部反射鏡とから構成され、前記共振器領域を構成するいずれかの層は、Inを含んでいる面発光レーザダイオードが提供される。

[0092] この本発明の第1の形態では、前記共振器領域を構成するいずれかの層はInを含んでおり、前記下部半導体DBRは放熱性に優れるAlAs/(Al)GaAs-DBRを含んでいるため、メサ形成の精度と再現性が高くなり、前記共振器領域の近傍までAlAs/(Al)GaAs-DBRを設けた構成とすることができる。

[0093] これにより、駆動時の温度上昇が抑制され、温度特性が良好で高出力な面発光レーザダイオードを提供できる。同時に、均一性のよいレーザ特性をもち、加工再現性が良く歩留が良い面発光レーザダイオードが提供できる。

[0094] なお、本第1の実施形態の面発光レーザダイオードにおいて、前記共振器領域を構成する層のうち、少なくとも下部スペーサ層と上部スペーサ層に、Inを含ませることができる。

[0095] かかる構成によれば、共振器領域を構成する層のうち、前記活性層構造部よりも格段に厚さの厚いスペーサ層がInを含んでいるため、より再現性良く、またより精度良くメサエッチングを実行でき、これにより、より温度特性が良好で、より均一性に優れたレーザ特性を有する、より高出力の面発光レーザダイオードを、高い加工再現性と高い歩留で得ることができる。

[0096] また、本発明の第1の実施形態の面発光レーザダイオードにおいて、前記第2下部半導体DBRは、10ペア以下であるのが好ましい。

[0097] かかる構成によれば、前記第2下部半導体DBRの厚さが、メサ加工時の精度より大きく、且つ、最小値に設定されているので、より高い歩留で面発光レーザダイオードを製造することができる。

[0098] また、本発明の第1の実施形態の面発光レーザダイオードは、半導体基板上に、レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性層と障壁層とよりなる活性層構造部と前記活性層構造部の周囲に設けられ少なくとも1種類の材料よりなるスペーサ層とを含む共振器領域を、前記共振器領域の上部および下部に上部反射鏡および下部反射鏡が設けられた積層膜として形成し、前記積層膜をドライエッチングしてメサ形

状に加工することにより製造できる。その際、本実施形態では、前記共振器領域を構成するいずれかの層にInを含ませておき、前記ドライエッチング工程においてInの発光をモニタすることにより、得られるメサ構造の高さを制御する。

[0099] 上記本実施形態による製造方法では、前記積層膜をドライエッチングしてメサ構造を形成する工程においてInの発光をモニタすることにより、メサ構造の高さが制御される。すなわち、共振器層からのInの発光をモニタしながらドライエッチングが行われるので、共振器層を確実に検出でき、これにより、前記メサ構造を高い再現性および精度で形成できる。その結果、本実施例によれば、第1の面発光レーザダイオードを、高い再現性および歩留で製造することが可能となる。

[0100] 図2は、上記本発明の第1の実施形態による面発光レーザダイオード40の基本構成例を示す。

[0101] 図2を参照するに、前記面発光レーザダイオード40は、GaAs, InP, GaP, GaNAs, Si, Geなどの単結晶半導体基板41上に、MOCVD法やMBE法により、直接に又は中間層を介し、 $\text{AlAs}/\text{Al}_{1-u}\text{Ga}_u\text{As}$ ($0 < u \leq 1$) 第1下部半導体DBR42と、 $\text{Al}_{1-v}\text{Ga}_v\text{As}/\text{Al}_{1-w}\text{Ga}_w\text{As}$ ($0 < v < 1, 0 < w \leq 1, v < w$) 第2下部半導体DBR43と、下部スペーサ層44A, 活性層44B, 上部スペーサ層44Cよりなり、下部スペーサ層44A, 活性層44B, 上部スペーサ層44Cのいずれかの層にInを含む共振器層44と、 $\text{Al}_{1-t}\text{Ga}_t\text{As}$ ($0 \leq t \leq 0.05$) 被選択酸化層45と、 $\text{Al}_{1-v}\text{Ga}_v\text{As}/\text{Al}_{1-w}\text{Ga}_w\text{As}$ ($0 < v < 1, 0 < w \leq 1, v < w$) 上部半導体DBR46とを順次積層した、VCSEL積層構造を有する。

[0102] ここで、前記Inを含む層は、 $\text{Al}_{1-x-y}\text{Ga}_x\text{In}_y\text{As}_z\text{P}_{1-z}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 < y \leq 1, 0 < (x+y) \leq 1, 0 \leq z \leq 1$) で表される化合物半導体材料よりなり、代表的には、GaInP, GaInAsP, GaInAs, AlGaInAs, AlGaInAsPなどよりなるが、さらにB, N, Sb, Tlなどの他のIII族、V族の元素を含む場合もある。

[0103] 表1は、このようなVCSEL積層構造の具体例を示す。

[0104] [表1]

	波長帯 (nm)	量子井戸活性層 (ウェル/バリア)	上部、下部スペーサ層	上部半導体DBR
例1	650	InGaP/AlGaInP	$(\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$	$\text{Al}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{As}/\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$
例2	780	GaInAsP/AlGaInP	$(\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$	$\text{Al}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{As}/\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$
例3	850	GaAs/InGaAsP	$\text{In}_{0.27}\text{Ga}_{0.73}\text{As}_{0.44}\text{P}_{0.56}$	$\text{Al}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{As}/\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$
例4	980	GaInAs/GaAs	GaIn(As)P	$\text{Al}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{As}/\text{GaAs}$
例5	1300	GaInNAs/GaAs	GaIn(As)P	$\text{Al}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{As}/\text{GaAs}$

	波長帯 (nm)	第1下部半導体DBR	第2下部半導体DBR
例1	650	AlAs/ $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$	$\text{Al}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{As}/\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$
例2	780	AlAs/ $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$	$\text{Al}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{As}/\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$
例3	850	AlAs/ $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$	$\text{Al}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{As}/\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$
例4	980	AlAs / GaAs	$\text{Al}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{As}/\text{GaAs}$
例5	1300	AlAs / GaAs	$\text{Al}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{As}/\text{GaAs}$

次に、フォトリソ等でメサマスクパターンを形成し、このようにして形成された積層構造をドライエッチング装置の処理容器内に保持する。さらに、前記処理容器中に Cl_2 , BCl_3 , SiCl_4 , CCl_4 , CF_4 などのハロゲン系ガスを導入し、反応性イオンビーム

エッチング法(RIBE)、誘導結合プラズマ(ICP)エッチング法、反応性イオンエッチング法(RIE)などのプラズマを用いたドライエッチング法でメサエッチングを行う。

[0105] かかるメサエッチングにおいて、ドライエッチング装置の処理容器に設けられた覗き窓を介してプラズマ発光分光を行い、波長が451nmのInの発光強度の時間変化をモニタする。本発明では、共振器領域をエッチングしているときだけInの発光が検出できるので、第2半導体DBR43中で確実にエッチングを停止することができる。

[0106] 次に、前記Al(Ga)As被選択酸化層45を、水蒸気中で熱処理し、 Al_xO_y よりなる電流狭窄構造を形成する。次に、このようにして形成されたメサ構造の周囲の空間を、電極取り出し部と光出力部を除いて、ポリイミドや SiO_2 よりなる絶縁膜47により、充填する。前記絶縁膜47を形成することにより、面発光レーザ素子が平坦化される。

[0107] さらに、所定の個所にp側電極48、n側電極49を形成し、図2の面発光レーザダイオード40の製造が完了する。

[0108] 図2の面発光レーザダイオード40では、p側電極48およびn側電極49から、それぞれ正キャリア、負キャリアを注入し、活性層44Bで発光させ、基板41に垂直方向にレーザ光を取り出すことができる。なお、図2の構成では、前記基盤41の上方に光出力する構成を示しているが、基板41の下方に光を出力させるよう構成することもできる。

[0109] ここで、前記下部スペーサ層44Aと活性層44Bと上部スペーサ層44Cは、全体で共振器44を構成し、従って、これらを合計した共振器の厚さは $(N_0 + 1) \times (\lambda / n)$ となる。多くの場合、共振器厚さは λ / n である。ここで、 N_0 は0以上の整数であり、 λ は発振波長、 n は前記共振器44を構成する半導体の屈折率である。

[0110] また、活性層44Bは通常薄い量子井戸構造をとるので、共振器の長さの大部分は上、下スペーサ層44A、44Cの厚さである。また、前記半導体DBR43の厚さは $(1 + 2 \times N_0) \times \lambda / (4 \times n)$ 、多くの場合は $\lambda / (4 \times n)$ である。よって、上下のスペーサ層44A、44Cは他の積層構造中の膜よりも格段に大きな厚さを有する。

[0111] このことから、前述のように、特に上下スペーサ層44A、44CがInを含む場合、エッチング時にInの強い発光強度が得られ、高い精度でエッチングの終点を制御できるようになり、メサエッチング工程の再現性が大きく向上する。

[0112] また、1枚のウェハ上において上記VCSEL積層構造を、前記モニタ法を用いてエ

ッティングした場合、エッチング深さのバラツキを、メサ構造の底面が、前記第2下部半導体DBR43の2, 3ペアの範囲内に位置する程度に制御することが可能になる。従って、メサ高さのウェハ内バラツキや、多数のウェハを同時にエッチングする際のウェハ間バラツキを考慮しても、前記第2下部半導体DBR43中の高屈折率膜と低屈折率膜ペアの繰り返し数が最大で10もあれば、通常のエッチング処理により、必要なエッチング制御を達成できる。

[0113] このように、本実施形態によれば、面発光レーザダイオードの共振器近傍まで、熱抵抗の小さいAlAs/(Al)GaAs-DBR43を設けた構成にでき、放熱効果を向上でき、駆動時の温度上昇を抑制でき、温度特性が良好で高出力な面発光レーザダイオードが得られる。

[0114] なお、前記第1下部半導体DBR42の低屈折率層の酸化速度が、前記被選択酸化層45の酸化速度より速い材料・厚さの場合は、メサエッチングが前記第1下部半導体DBR42まで到達してはいけませんが、このような状況は、前記被選択酸化層45と前記第1下部半導体DBR42の低屈折率層がともにAlAsである場合以外にも生じ得る。例えば、このような例として、前記被選択酸化層45がAlAsではなくGaがわずかに含まれており、前記第1下部半導体DBRの低屈折率層もAlAsではなくGaが含まれている場合が挙げられる。

[0115] しかし、このような場合でも、第2下部半導体DBR43の低屈折率層の酸化速度が被選択酸化層45よりも遅い材料であり、前記第1下部半導体DBR42の低屈折率層が、前記第2下部半導体DBR43中の低屈折率層より熱抵抗の小さい組成あるいは材料であれば、満足できる放熱効果が得られる。

[0116] また、Inの発光分光では、Inの発光強度だけを単純にモニタする方法の他に、プラズマ状態の変動による影響をキャンセルすべく、Inの発光強度と他の構成元素の発光強度との比、あるいはInの発光強度と、いずれにも帰属しない波長の発光強度との比をモニタする方法を使うことも可能である。

[0117] エッチング底面を共振器の直下に制御するには、下部半導体DBR43の最上層をGaInPやAlGaInPとし、共振器を含む上層をGaAsやAlGaAsなどにする方法も可能である。この場合、 $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{H}_2\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$ 液による選択エッチングが可能となる。し

かし、このようなウェットエッチングでは、メサ幅の制御が困難であり、またエッチング異方性により非対称な形状のメサができやすいなどの不具合が生じる。このような事情で、前記メサエッチングはドライエッチングにより実行するのが好ましい。

[0118] また、上記の構成では、AlAs被選択酸化層45は活性層44Bの近傍に設けられるが、上部半導体DBR46や下部半導体DBR42, 43の低屈折率層を兼ねてDBR中に設ける場合等もあり、その位置は限定されない。

[0119] また、以上の説明では、共振器領域44にのみInを含む層を設けた場合を説明したが、共振器領域44のエッチング状況を把握できて、かつ、エッチングが第一下部反射鏡42まで到達しなければ良いのであり、例えば共振器領域44に最も近い反射鏡43の一部など、共振器領域44以外にInを含む層を設けてもかまわない。

(第2の実施形態)

本発明の第2の実施形態の面発光レーザダイオードは、前記第1の実施形態の面発光レーザダイオード40において、スペーサ層44A, 44Cの一部を $(\text{AlGa}_{1-a})\text{In}_b\text{P}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$)より構成し、前記活性層44Bを、 $\text{GaIn}_{1-c}\text{PAs}_{1-d}$ ($0 \leq c \leq 1, 0 \leq d \leq 1$)よりなる量子井戸活性層と、 $\text{GaIn}_{1-e}\text{PAs}_{1-f}$ ($0 \leq e \leq 1, 0 \leq f \leq 1$)よりなる障壁層より構成することを特徴としている。

[0120] ここで前記スペーサ層44A, 44Cの一部に $(\text{AlGa}_{1-a})\text{In}_b\text{P}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$)を用いることで、前記スペーサ層をAlGaAs系で形成した場合に比べて、スペーサ層と量子井戸活性層との間のバンドギャップ差を大幅に増大させることができる。

[0121] 表2は、AlGaAs(スペーサ層)/AlGaAs(量子井戸活性層)系の780nmおよび850nm帯域の面発光レーザダイオード、およびAlGaInP(スペーサ層)/GaInPAs(量子井戸活性層)系の780nm帯域の面発光レーザダイオードで使われる典型的な材料組成において、スペーサ層と量子井戸層、及び障壁層と量子井戸層との間に生じるバンドギャップ差を示す。

[0122] [表2]

波長	780nm			850nm(Ref.)
	スペーサ層/量子井戸活性層 AlGaAs/AlGaAs系材料	AlGaInP/GaInPAs系材料	AlGaAs/GaAs系材料	
スペーサ層	$\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.4}\text{As}$ ($E_g=2.0226\text{eV}$)	$(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ ($E_g(x=0.7)=2.289\text{eV}$)	$\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.4}\text{As}$ ($E_g=2.0226\text{eV}$)	
	量子井戸 活性層	$\text{Al}_{0.12}\text{Ga}_{0.88}\text{As}$ ($E_g=1.5567\text{eV}$)	GaAs ($E_g=1.42\text{eV}$)	
障壁層	障壁層	$\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ ($E_g=1.7755\text{eV}$)	$\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ ($E_g=1.7755\text{eV}$)	
	スペーサ層と井戸層の E_g 差 (ΔE_g)	465.9meV	743.3meV	602.6meV
障壁層と井戸層の E_g 差 (ΔE_g)		218.8meV	463.3meV	355.5meV

表2に示すように、AlGaInP(スペーサ層)/GaInPAs(量子井戸活性層)系の780nm帯域面発光レーザダイオードは、AlGaAs/AlGaAs系の780nm帯域面発光レーザダイオードはもとより、AlGaAs/AlGaAs系の850nm帯域面発光レーザダイオードよりも、上記バンドギャップ差を大きく取れることがわかる。

- [0123] また、このような構成の面発光レーザダイオードでは、量子井戸活性層を圧縮歪組成とすることができる。歪が増加すると、ヘビーホールとライトホールのバンド分離が大きくなるため、利得の増加が大きくなり、レーザ発振のしきい値が減少し、レーザ発振の効率が向上する。すなわち、レーザ出力が増大する。この効果はAlGaAs/AlGaAs系の850nm面発光レーザダイオードでは実現できないことに注意すべきである。
- [0124] すなわち本発明のAlGaInP/GaInPAs材料系を使った面発光レーザダイオードによれば、AlGaAs/AlGaAs系の850nm面発光レーザダイオードよりも、しきい値が減少し、レーザ発振効率が向上した高出力レーザを実現することができる。
- [0125] 更に、本発明の第2の形態の面発光レーザダイオードでは、キャリア閉じ込め効率が向上し、歪量子井戸活性層の使用による利得の増大によっても、しきい値が低減され、その結果、光取り出し側DBRの反射率の低減が可能となる。これにより、より一層の光出力の増大が実現できる。
- [0126] また、本発明の第2の実施形態の面発光レーザダイオードでは、量子井戸活性層が $\text{Ga}_{1-c}\text{In}_c\text{P}_{1-d}\text{As}_d$ ($0 \leq c \leq 1, 0 \leq d \leq 1$)により、また障壁層が $\text{Ga}_{1-e}\text{In}_e\text{P}_{1-f}\text{As}_f$ ($0 \leq e \leq 1, 0 \leq f \leq 1$)により構成されているが、これらはAlを含んでいない材料である、従って量子井戸活性層及びこれに隣接する層よりなる活性層構造部44がAlを含まないため、前記量子井戸活性層への酸素の取り込みが低減され、非発光再結合センタの形成を抑えることができる。これにより、長寿命の面発光レーザダイオードを実現できる。
- [0127] このように、前記スペーサ層44A、44Cの一部にAlGaInP材料を用い、障壁層や量子井戸活性層にはGaInPAsを用いることで、活性層の光利得が大きく、低いしきい値を有し、信頼性に優れた850nmよりも波長の短い帯域で発信する高出力面発光レーザダイオードを実現することができる。

- [0128] ここで、上記の効果を実現するためには、以下に示すように前記基板41の面方位を考慮することが好ましい。
- [0129] 特にAlGaInPやGaInPを活性領域に使う面発光レーザダイオードにおいては、面方位が(111)A面方向に 5° 乃至 20° の範囲内の角度(傾斜角)に傾斜した(100)GaAs基板を、前記基板41として使うのが好ましい。これは、基板の面方位が(100)に近い場合、自然超格子の形成によるバンドギャップの低下や、ヒロック(丘状欠陥)発生による表面形状の悪化や非発光再結合センタの発生が生じ、基板上に形成される半導体レーザなどのデバイス特性に悪影響を及ぼす恐れがあるためである。
- [0130] 一方、基板面方位を(100)面から(111)A面方向に傾斜させると、傾斜角に応じて自然超格子の形成が抑えられる。そこで、バンドギャップは、傾斜角が 10° から 15° くらいまでは急激に変化し、その後は徐々に正規のバンドギャップ(混晶のバンドギャップ値)に近づき、また、ヒロックも徐々に発生しなくなっていく。
- [0131] しかし、(111)A面方向の傾斜角が 20° を超えると、基板上への結晶成長が困難になる。このため、例えば赤色レーザ(630nmから680nm)の材料系で使われているAlGaInP材料では、 5° 乃至 20° の範囲内の角度に(より多くの場合、 7° 乃至 15° の範囲内の角度に)傾斜させた基板が一般に使われている。これは、スペーサ層(クラッド層)であるAlGaInPはもとより、表2の例のように障壁層をGaInPとした場合も当てはまる。更には、障壁層や量子井戸活性層がGaInPAsの場合であっても悪影響が懸念されるので、これら材料の成長には面方位が(111)A面方向に 5° 乃至 20° の範囲内の角度に(より望ましくは 7° 乃至 15° の範囲内の角度に)傾斜した(100)GaAs基板を用いることが好ましい。
- [0132] 一方、このように基板41の面方位を(111)A面方向に傾斜させた場合、現在最有力視されている(311)B基板における光学利得異方性を利用した偏光角(偏光方向)の制御技術を利用することはできなくなる。すなわち本実施形態では、(311)B基板(傾斜角が 25°)よりも小さい傾斜角(5° 乃至 20° の範囲内の角度)を用いることで、基板のコストを抑えられ、またへき開が容易になり基板の扱い易さが改善するものの、得られる光学利得異方性は小さくならざるを得ない。
- [0133] そこで本実施形態では、上記光学利得異方性の低下分を、量子井戸活性層に圧

縮歪を与えることにより誘起される光学利得異方性の増大により補償する。

[0134] なお、上述例では、850nmよりも短い波長に限定しているが、これは、この波長域において従来例に比べ優位差が極めて大きいからであり、同様の効果は、850nmよりも長い波長であつても得られることに注意すべきである。

[0135] このように本実施形態では、850nmよりも短い波長で動作し、前記第1の実施形態の特徴に加え、活性層の利得が大きく、しきい値が低減され、高出力で信頼性に優れた特徴を有する面発光レーザダイオードにおいて、さらに偏光方向が制御されている面発光レーザダイオードが提供される。

(第3の実施形態)

本発明の第3の実施形態は、(111)A面方向に 5° 乃至 20° の範囲内の角度で傾斜した面方位を有する(100)GaAs基板と、レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸層活性と障壁層とよりなる活性層構造部と、前記活性層構造部の近傍に設けられ、少なくとも1種類の材料よりなるスペーサ層とを含み、前記GaAs基板上に形成される共振器領域と、前記共振器領域の上部および下部に設けられた上部反射鏡および下部反射鏡とよりなり、前記共振器領域と、前記上部および下部反射鏡とは、前記GaAs基板上においてメサ構造を形成する面発光レーザダイオードにおいて、前記上部反射鏡および下部反射鏡は、屈折率が周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡よりなり、前記半導体分布ブラッグ反射鏡の少なくとも一部は、 $\text{Al Ga}_x\text{As}_{1-x}$ ($0 < x \leq 1$)よりなる屈折率が小なる層と、 $\text{Al Ga}_y\text{As}_{1-y}$ ($0 \leq y < x \leq 1$)よりなる屈折率が大なる層とより構成され、前記スペーサ層の一部は $(\text{Al Ga}_{1-a})\text{In}_b\text{P}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$)よりなり、前記量子井戸活性層は $\text{Ga In}_c\text{P}_d\text{As}_{1-d}$ ($0 \leq c \leq 1, 0 \leq d \leq 1$)よりなり、前記障壁層は $\text{Ga In}_{1-e}\text{P}_f\text{As}_{1-f}$ ($0 \leq e \leq 1, 0 \leq f \leq 1$)よりなり、前記量子井戸活性層は圧縮歪を有しており、前記活性層構造部は、光出射方向から見て(111)A面方向に長い形状異方性を有することを特徴とする。

[0136] 本発明の面発光レーザダイオードでは、基板の面方位を(111)A面方向に傾斜させることによる光学利得異方性を利用して偏光角(偏光方向)を制御する場合、(311)B基板(傾斜角が 25°)よりも小さい傾斜角(5° 乃至 20° の範囲内の角度)を使

うため、現在、最有力視されている(311)B基板を用いた場合の効果を利用することができない。

- [0137] そこで本発明の第3の実施形態では、この低下分を量子井戸活性層に圧縮歪を与えることによる光学利得異方性の増大により補償し、さらにこの効果に加え、面発光レーザーダイオードの光出射方向から見た活性層の外周形状に異方性を持たせ、すなわち(111)A面方向に長い形状とすることにより、基板傾斜方向((111)A面方向)の光学利得を増大させる効果により補償している。これにより傾斜角方向((111)A面方向)の光学利得が更に増大し、偏向角の制御性が向上する。

(第4の実施形態)

本発明の第4の実施形態は、前記第2または第3の実施形態の面発光レーザーダイオードにおいて、障壁層が引っ張り歪を有している面発光レーザーダイオードを提供する。

- [0138] 面発光レーザーダイオードにおいて量子井戸活性層の障壁層として使われるGaInP-As系材料では、同一格子定数で比較するとGaInPのバンドギャップが最も大きい。また、格子定数が小さい材料の方が大きなバンドギャップを確保できる。すなわち、障壁層としてGaInP系の格子定数が小さい材料を使うことにより、障壁層と量子井戸活性層との間に大きなバンド不連続を実現でき、面発光レーザーダイオードの利得を増大させることができる。これにより、面発光レーザーダイオードは低いしきい値で、高出力動作が可能となる。例えば、 $\text{Ga}_{0.6}\text{In}_{0.4}\text{P}$ 引っ張り歪層のバンドギャップは2.02 eVであり、 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 格子整合層のバンドギャップは1.87 eVであり、 $\text{Ga}_{0.6}\text{In}_{0.4}\text{P}$ 引っ張り歪層のバンドギャップの方が150 meV大きいことに注意すべきである。

(第5の実施形態)

本発明の第5の実施形態は、前記第2乃至第4の実施形態の面発光レーザーダイオードにおいて、発振波長がおよそ680 nmよりも長波長である面発光レーザーダイオードを提供する。

- [0139] 本実施形態の面発光レーザーダイオードを、AlGaAs/AlGaAs系活性層を有する780 nm面発光レーザーダイオードの場合と比較すると、AlGaAs/AlGaAs系面発光レーザーダイオードで使われる $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$)系スペーサ層の典型的な組成範

囲において最もバンドギャップが大きい $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=0.6$, $E_g=2.0226\text{eV}$)と組成波長が 780nm ($E_g=1.5567\text{eV}$)の活性層とのバンドギャップ差は、本実施形態における面発光レーザダイオードで使われる $(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})_{1-b}\text{In}_b\text{P}$ ($0 < a \leq 1$, $0 \leq b \leq 1$) スペーサ層の典型的な組成範囲で最もバンドギャップが大きい $(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})_{1-b}\text{In}_b\text{P}$ ($a=0.7$, $b=0.5$, $E_g=2.289\text{eV}$)と組成波長 680nm ($E_g=1.8233\text{eV}$)の活性層とのバンドギャップ差 (460meV) とほぼ等しいことがわかる。

[0140] また、障壁層と量子井戸活性層とのバンドギャップ差についてみると、例えば障壁層を $\text{Ga}_e\text{In}_{1-e}\text{P}_f\text{As}_{1-f}$ ($e=0.6$, $f=1$, $E_g=2.02\text{eV}$)とすれば、組成波長 680nm の活性層とのバンドギャップ差がおおよそ 200meV となり、 $\text{AlGaAs}/\text{AlGaAs}$ 系活性層による 780nm 面発光レーザダイオードの場合とほぼ同等となる。

[0141] これは、 AlGaInP 系スペーサ層を用いることで、組成波長が 680nm よりも長波長であれば、 Al フリー活性層 (量子井戸活性層と障壁層) を用いた面発光レーザダイオードであっても、 $\text{AlGaAs}/\text{AlGaAs}$ 系活性層を有する 780nm 面発光レーザダイオードの場合と同等以上のキャリア閉じ込めが可能となることを意味する。実際には、更に歪量子井戸活性層の効果も加わるため、同等以上の特性が得られる。

(第6の実施形態)

本発明の第6の実施形態は、前記第1乃至第5のいずれかの実施形態の面発光レーザダイオードが同一基板上に複数個構成されている面発光レーザダイオードレイを提供する。

[0142] 一般に面発光レーザダイオードは、その面発光構成のためレーザアレイを容易に構成でき、しかも個々の面発光レーザダイオード素子が通常の半導体プロセスで形成されるので、個々の面発光レーザダイオード素子を高い位置精度で形成できる。特に本発明によれば、メサ形成時のエッチング制御性が改善され、その結果歩留まりも向上し、製造コストを低減することが可能となる。

[0143] 更に本発明によれば、下部DBRの放熱性が改善され、その結果、アレイ内の素子間熱干渉が低減され、個々の素子の出力を増大させ、また素子の形成密度を増大させることができる。

[0144] 更に、本発明の偏光方向が所定方向に制御された、高出力面発光レーザダイオード

ドを同一基板上に多数集積したレーザアレイを使うことにより、画像形成装置などの書き込み光学系においては、同時に複数ビームを使った書き込みが容易に実現され、書き込み速度が格段に向上する。またかかる構成によれば、書き込みドット密度が上昇しても印刷速度を落とすことなく印刷することが可能となる。また同じ書き込みドット密度の場合は印刷速度を増大することができる。また、かかるレーザアレイを通信に適用する場合には、同時に複数ビームによるデータ伝送が可能となり、高速通信が実現できる。更に面発光レーザダイオードは低消費電力動作するため、特に機器の中に組み込んだ場合、機器内の温度上昇を抑制することが可能になる。

(第7の実施形態)

本発明の第7の実施形態は、前記第1乃至第5のいずれかの形態の面発光レーザダイオード、または、前記第6の形態の面発光レーザダイオードレイが書き込み光源として用いられている画像形成装置を提供する。

- [0145] 本発明の面発光レーザダイオード、面発光レーザダイオードレイは、偏光方向が制御されてしかも高出力化できることから、これらを用いた本実施形態の画像形成装置は、従来の面発光レーザダイオードレイを用いた画像形成装置に比べ、高速印刷が可能となる。また、画像形成装置を従来と同じ印刷速度に設計する場合には、使われるレーザアレイの数を低減することが可能となり、面発光レーザダイオードレイチップの製造歩留まりが大きく向上するとともに、画像形成装置の製造コストを低減できる。更に、本実施例では面発光レーザダイオードの活性層がAlフリー活性層であるため、850nm帯の面発光レーザダイオードのような通信用面発光レーザダイオードと同等の寿命(推定で室温100万時間が報告されている)が達成可能となり、光書き込み光学ユニットの再利用が可能となる。これにより、環境負荷を低減することができる。

(第8の実施形態)

本発明の第8の実施形態は、前記第1乃至第5のいずれかの実施例形態の面発光レーザダイオード、または、前記第6の形態の面発光レーザダイオードレイが光源として用いられている光ピックアップシステムを提供する。

- [0146] 従来、光メディアへの光書き込みおよび再生用光源として、コンパクトディスク装置

では、780nmの波長が用いられている。面発光レーザダイオードは端面発光レーザダイオードに比べて1桁程度消費電力が小さいことから、本発明の780nm帯域の面発光レーザダイオードを再生用光源として使うことにより、バッテリー寿命の長いハンディタイプ光ピックアップシステムを実現することが可能になる。

(第9の実施形態)

本発明の第9の実施形態は、前記第1乃至第5のいずれかの実施形態による面発光レーザダイオード、または、第6の実施形態による面発光レーザダイオードレイを光源として用いた光送信モジュールを提供する。

[0147] アクリル系POF(プラスチックファイバー)を用いた光伝送では、その吸収損失特性から、650nmの発振波長の面発光レーザダイオードが光源として検討されているが、高温特性が悪く実用にはなっていない。このため、現在はLEDが光源として使われているが、LEDでは高速変調が困難であり、1Gbpsを越えた高速伝送実現のためには、半導体レーザが不可欠である。

[0148] 最短波長が680nmである本発明の面発光レーザダイオードは、活性層利得が大きいのので、高出力で、また高温特性にも優れており、かかる面発光レーザダイオードを光源として使うことにより、光ファイバの吸収損失は大きくなるものの、短距離であれば光伝送は十分に可能であり、安価な面発光レーザダイオードと安価なPOFとを用いた、経済的で高速な光送信モジュールを実現することができる。

(第10の実施形態)

本発明の第10の実施形態は、前記第1乃至第5のいずれかの実施形態の面発光レーザダイオード、または、前記第6の実施形態の面発光レーザダイオードレイを光源として用いた光送受信モジュールを提供する。

[0149] アクリル系POF(プラスチックファイバー)を用いた光伝送では、その吸収損失特性から、650nmの発振波長の面発光レーザダイオードが光源として検討されているが、高温特性が悪く実用にはなっていない。このため、現在はLEDが光源として使われているが、LEDでは高速変調が困難であり、1Gbpsを越えた高速伝送実現のためには、半導体レーザが不可欠である。

[0150] 最短波長が680nmである本発明の面発光レーザダイオードは、活性層利得が大

きいので、高出力で、また高温特性にも優れており、かかる面発光レーザダイオードを光源として使うことにより、光ファイバの吸収損失は大きくなるものの、短距離であれば光伝送は十分に可能であり、安価な面発光レーザダイオードと安価なPOFとを用いた、経済的で高速な光送受信モジュールを実現することができる。

(第11の実施形態)

本発明の第11の実施形態は、前記第1乃至第5のいずれかの実施形態の面発光レーザダイオード、または前記第6の実施形態の面発光レーザダイオードレイを光源として用いた光通信システムを提供する。

[0151] アクリル系POF(プラスチックファイバー)を用いた光伝送では、その吸収損失特性から、650nmの発振波長の面発光レーザダイオードが光源として検討されているが、高温特性が悪く実用にはなっていない。このため、現在はLEDが光源として使われているが、LEDでは高速変調が困難であり、1Gbpsを越えた高速伝送実現のためには、半導体レーザが不可欠である。

[0152] 最短波長が680nmである本発明の面発光レーザダイオードは、活性層利得が大きいので、高出力で、また高温特性にも優れており、かかる面発光レーザダイオードを光源として使うことにより、光ファイバの吸収損失は大きくなるものの、短距離であれば光伝送は十分に可能であり、安価な面発光レーザダイオードと安価なPOFとを用いた、経済的で高速な光送受信モジュールを実現することができる。

[0153] このようなシステムは極めて経済的であることから、特に一般家庭やオフィスの室内、機器内などの光通信システムに用いるのに好適である。

以下に、本発明の実施例を説明する。

実施例 1

[0154] 図3は、本発明の実施例1の面発光レーザダイオード60の構成を示す図である。なお、後述の実施例2、実施例3、実施例4の面発光レーザダイオードも図3と同様の構成のものとなっている。

[0155] 図3を参照すると、実施例1ではn-GaAs単結晶(100)基板61上に、MOCVD法により、 $n\text{-Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 対を42.5回繰り返して積層した第1下部半導体DBR62と、 $n\text{-Al}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{As}/\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 対を6回繰り返して積層した第2下部半導

体DBR63と、 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 下部スペーサ層64Aと、 $\text{GaInAsP}/\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ (ウェル／バリア)TQW活性層64Bと、 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 上部スペーサ層64Cと、p-AlAs被選択酸化層65と、 $\text{p-Al}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{As}/\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 対を34.5回繰り返し積層した上部半導体DBR66と、p-GaAsコンタクト層67とを順次に積層して、VCSEL積層構造を形成する。ここで、前記下部スペーサ層64A、前記活性層64Bおよび前記上部スペーサ層64Cは、共振器構造64を形成する。

[0156] 次に、このようにして形成されたVCSEL積層構造上にフォトリソで円形メサマスクをパターンニングし、 Cl_2 ガスを導入し、反応性イオンビームエッチング法(RIBE)でメサエッチングを開始する。

[0157] 本実施例では、このメサエッチング工程中において、プラズマ発光分光器を使ってInの発光強度(451nm)とAlの発光強度(396nm)を求め、その比(In/Al比)の時間変化をモニタする。

[0158] 図4は、本実施例1で求められたIn(451nm)/Al(396nm)発光強度比の時間変化を示す。

[0159] 図4を参照するに、エッチング開始から数分経過すると、Inの発光(451nm)が検出され、やがて消失する。そこで、Inの発光が消失した時点でエッチングを終了すると、たとえば前記第2下部半導体DBR63の上から3層目でメサエッチングが停止し、図3のメサ構造Mが形成されている。

[0160] 次に、前記メサ構造Mが形成された時点で前記AlAs被選択酸化層65を水蒸気中、400℃で熱処理し、非酸化AlAs領域が $25\mu\text{m}^2$ になるように、前記AlAs被選択酸化層65中に電流狭窄構造を形成し、さらに、前記メサ構造の周辺部を、電極取り出し部と光出力部を除いて、ポリイミド保護膜68により充填する。

[0161] 続いて、前記メサ構造Mの上面にp側電極膜69を、前記p型コンタクト層67に接するように蒸着法により堆積し、リフトオフ法により光出力用の開口を形成する。さらに、基板61の裏面にn側電極70を形成して、図3に示す構成の面発光レーザダイオードを作製することができる。

[0162] 本実施例1の面発光レーザダイオード60では、p側電極69、n側電極70から、それぞれ正キャリア、負キャリアを注入することにより、波長780nmのレーザ光が上部電

極69中に形成された開口部から、前記基板61に垂直方向に出射される。

- [0163] 実施例1の面発光レーザダイオード60では、共振器構造64の全体にInを含むVCSEL積層構造を、Inの発光をモニタしながらエッチングするため、エッチングの際に良好に共振器構造64を検出でき、このため、前記第2下部半導体DBR63を、下部半導体DBR全体の4/7よりも少ない層数で形成できる。その結果、素子の温度上昇が抑えられ、面発光レーザダイオードをより高出力で駆動することが可能になる。また、本実施例では再現性よくメサエッチングが実行されるため、メサ高さが均一になり、均一なレーザ特性をもつ面発光レーザダイオードが、高い歩留まりで得られる。

実施例 2

- [0164] 次に、本発明の実施例2による面発光レーザダイオード80について説明する。前述のように、実施例2の面発光レーザダイオード80も図3と同様の構成を有している。
- [0165] 図3を参照するに、実施例2では、n-GaAs単結晶(100)基板61上に、MBE法により、 $n\text{-Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 対を47.5回繰り返し積層した第1下部半導体DBR62と、 $n\text{-Al}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{As}/\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 対を10回繰り返し積層した第2下部半導体DBR63と、 $(\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 下部スペーサ層64Aと、 $\text{In}_{0.46}\text{Ga}_{0.54}\text{P}/(\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ (ウェル/バリア)TQW活性層64Bと、 $(\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 上部スペーサ層64Cと、p-AlAs被選択酸化層65と、 $\text{Al}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{As}/\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 対を40.5回繰り返し積層した上部半導体DBR66と、p-GaAsコンタクト層67とを順次に積層し、VCSEL積層構造を形成する。
- [0166] 次に、このようにして形成されたVCSEL積層構造上にフォトリソで円形メサマスクをパターンニングし、 Cl_2 ガスを導入し、ICPエッチング法でメサエッチングを行う。
- [0167] 本実施例では、このプラズマエッチングの間、プラズマ発光分光器でInの発光強度(451nm)の時間変化をモニタする。エッチングが進行するにつれ、Inの発光(451nm)が検出されるが、やがてInの発光は消失する。そこで、Inの発光が消失した時点でエッチングを終了することにより、第2下部半導体DBR63中において、メサエッチングが停止した構造Mを得ることができる。
- [0168] 次に、前記メサ構造Mが形成された時点で前記AlAs被選択酸化層65を水蒸気中、400°Cで熱処理し、非酸化AlAs領域が $25\mu\text{m}^2$ になるように、前記AlAs被選択酸

化層65中に電流狭窄構造を形成し、さらに、前記メサ構造の周辺部を、電極取り出し部と光出力部を除いて、ポリイミド保護膜68により充填する。

[0169] 続いて、前記メサ構造Mの上面にp側電極膜69を、前記p型コンタクト層67に接するように蒸着法により堆積し、リフトオフ法により光出力用の開口を形成する。さらに、基板61の裏面にn側電極70を形成して、図3に示す構成の面発光レーザダイオードを作製することができる。

[0170] 本実施例2の面発光レーザダイオード80では、p側電極69、n側電極70から、それぞれ正キャリア、負キャリアを注入することにより、波長650nmのレーザ光が上部電極69中に形成された開口部から、前記基板61に垂直方向に出射される。

[0171] 実施例2の面発光レーザダイオードでも、実施例1の面発光レーザダイオードと同様の、放熱特性が優れ均一な素子特性を有する面発光レーザダイオードが、高い歩留まりで得られる。

実施例 3

[0172] 次に、本発明の実施例3による面発光レーザダイオード100について説明する。前述のように、実施例3の面発光レーザダイオード100も図3と同様の構成を有している。

[0173] 図3を参照するに、実施例3では、n-GaAs単結晶(100)基板61上に、MOCVD法により、 $n\text{-Al}_{0.5}\text{As}_{0.5}/\text{GaAs}$ 対を40.5回繰り返し積層した第1下部半導体DBR62と、 $n\text{-Al}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{As}/\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ 対を5回繰り返し積層した第2下部半導体DBR63と、 $\text{In}_{0.27}\text{Ga}_{0.73}\text{As}_{0.44}\text{P}_{0.56}$ 下部スペーサ層64Aと、 $\text{GaAs}/\text{In}_{0.27}\text{Ga}_{0.73}\text{As}_{0.44}\text{P}_{0.56}$ (ウェル/バリア)TQW活性層64Bと、 $\text{In}_{0.27}\text{Ga}_{0.73}\text{As}_{0.44}\text{P}_{0.56}$ 上部スペーサ層64Cと、 $p\text{-Al}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{As}$ 被選択酸化層65と、 $p\text{-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 対を30.5回繰り返し積層した上部半導体DBR66と、 $p\text{-GaAs}$ コンタクト層67とを順次に積層し、VCSEL積層構造を形成する。

[0174] さらに、前記VCSEL積層構造を、実施例2と同様にメサエッチングし、さらに同様な熱酸化処理を行い、前記メサ構造Mの周囲をポリイミド膜68で充填後、電極形成を行い、図3の面発光レーザダイオード100が得られる。

[0175] 本実施例3の面発光レーザダイオード100では、p側電極69、n側電極70から、そ

れぞれ正キャリア、負キャリアを注入することにより、波長850nmのレーザ光が上部電極69中に形成された開口部から、前記基板61に垂直方向に出射される。

- [0176] 実施例3の面発光レーザダイオードでも、実施例1の面発光レーザダイオードと同様に、放熱特性が優れ均一な素子特性を有する面発光レーザダイオードが、高い歩留まりで得られる。

実施例 4

- [0177] 次に、本発明の実施例4の面発光レーザダイオード120について説明する。前述のように、実施例4の面発光レーザダイオード120も図3と同様の構成を有している。

- [0178] 図3を参照するに、実施例4では、n-GaAs単結晶(100)基板61上に、MOCVD法により、n-AlAs/GaAs対を32.5回繰り返して積層した第1下部半導体DBR62と、 $n\text{-Al}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{As}/n\text{-GaAs}$ 対を3回繰り返して積層した第2下部半導体DBR63と、 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 下部スペーサ層64Aと、GaInNAs/GaAs(ウェル/バリア)TQW活性層64Bと、 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 上部スペーサ層64Cと、p-AlAs被選択酸化層65と、 $n\text{-Al}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{As}/p\text{-GaAs}$ 対を26回繰り返して積層した上部半導体DBR66と、p-GaAsコンタクト層67とを順次に積層し、VCSEL積層構造を形成する。

- [0179] さらに、前記VCSEL積層構造を、実施例2と同様にメサエッチングしてメサ構造Mを形成し、さらに同様な熱酸化処理を行い、前記メサ構造Mの周囲をポリイミド膜68で充填後、電極形成を行い、図3の面発光レーザダイオード120が得られる。

- [0180] 本実施例4の面発光レーザダイオード120では、p側電極69、n側電極70から、それぞれ正キャリア、負キャリアを注入することにより、波長1300nmのレーザ光が上部電極69中に形成された開口部から、前記基板61に垂直方向に出射される。

- [0181] 実施例4では、先に説明した実施例1の作用効果に加えて、GaInNAsを活性層に含んでいるため、1.3 μm 帯のレーザ素子であってもGaAs基板上に形成でき、高性能なAlGaAs系DBRを利用できると共に、選択酸化狭窄構造を採用できる。さらに障壁層やスペーサ層とGaInNAs活性層との間のバンド不連続が大きく、キャリア閉じ込め効率が向上するので特性温度がさらに向上し、光伝送用の光源として適用性の高い面発光レーザダイオードが得られる。

- [0182] また、本実施例の面発光レーザダイオードは1.3 μm 帯の素子であるため、DBR6

2、63を構成する半導体層が厚く、第2下部DBR63の厚さを3ペア分の厚さに設定しても、メサエッチングを、エッチングの下端が、前記第2下部DBR63中に位置するように実行することが可能である。これにより、放熱特性および温度特性がさらに向上し、面発光レーザダイオードをさらに高出力で駆動することが可能になる。

実施例 5

- [0183] 図5は実施例5の面発光レーザダイオード140の構成を示す。
- [0184] 図5を参照するに、実施例5では、p-GaAs単結晶(100)基板81上に、MOCVD法により、 $p\text{-Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ 対を39.5回繰り返し積層した第1下部半導体DBR82と、 $p\text{-Al}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{As}/p\text{-Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ 対を6回繰り返し積層した第2下部半導体DBR83と、p-AlAs被選択酸化層84と、 $\text{In}_{0.27}\text{Ga}_{0.73}\text{As}_{0.44}\text{P}_{0.56}$ 下部スペーサ層85Aと、 $\text{GaAs}/\text{In}_{0.27}\text{Ga}_{0.73}\text{P}_{0.56}$ (ウェル/バリア)TQW活性層85Bと、 $\text{In}_{0.27}\text{Ga}_{0.73}\text{As}_{0.44}\text{P}_{0.56}$ 上部スペーサ層84Cと、 $n\text{-Al}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{As}/n\text{-Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ 対を30.5回繰り返し積層した上部半導体DBR86と、n-GaAsコンタクト層87とを順次に積層し、VCSEL積層構造を形成する。ここで、前記下部スペーサ層85A、活性層85Bおよび上部スペーサ層84Cは、共振器となる活性構造部85を形成する。
- [0185] さらに、前記VCSEL積層構造を、実施例2と同様にメサエッチングしてメサ構造Mを形成し、さらに同様な熱酸化処理を行い、メサ構造Mの周囲をポリイミド膜90で充填後、電極形成を行い、図3の面発光レーザダイオード120が得られる。ただし本実施例では、p側電極89が基板81の裏面に、またn側電極88がコンタクト層87上に形成される。
- [0186] 本実施例5の面発光レーザダイオード120では、n側電極88、p側電極89から、それぞれ負キャリア、正キャリアを注入することにより、波長850nmのレーザ光が上部電極88中に形成された開口部から、前記基板81に垂直方向に出射される。
- [0187] 図5のような面発光レーザダイオードにおいて、活性構造部85中の活性層85Bよりも基板側の半導体層をp型伝導型にする場合は、AlAs被選択酸化層84を前記活性構造部85よりも基板側に設ける必要がある。これは、化合物半導体ではp型伝導型層の方がn型伝導型層よりも移動度が小さいため、電流狭窄構造をp型伝導領域

に設けた方が、狭窄効果が大きいためである。

- [0188] 以上のように、基板側半導体層をp型伝導型に形成する場合は、より正確なエッチング制御が必要となる。本実施例5の積層膜構成では、プラズマ発光分光法を用いてエッチングの進行をモニタすることにより、基板側半導体層がp型伝導型の面発光レーザダイオードであっても、安定してメサエッチングを実行することが可能になる。
- [0189] 本発明の他の特徴は、先に説明した実施例1の通りであり、説明を省略する。

実施例 6

- [0190] 次に、本発明の実施例6による面発光レーザダイオードを説明する。
- [0191] 図6乃至図7は、本発明実施例6の面発光レーザダイオード160の構成を示す。ただし、図7は図6の面発光レーザダイオード160の活性層周辺の領域Aの拡大図である。なお、本実施例6の面発光レーザダイオードは、780nmの波長で発振する。
- [0192] 図6を参照するに、面発光レーザダイオード160は、面方位が(111)A面方向に傾斜角 15° で傾斜した $n-(100)\text{GaAs}$ 基板101上に、 $n-\text{AlAs}$ 低屈折率層と $n-\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 高屈折率層とを、媒質内における発振波長の $1/4$ 倍の厚さで交互に例えば30.5周期積層した周期構造よりなる第1下部半導体DBR(下部第1反射鏡)102と、 $n-\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 低屈折率層と $n-\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 高屈折率層とを媒質内における発振波長の $1/4$ 倍の厚さで交互に例えば10周期積層した周期構造よりなる第2下部半導体DBR(下部第2反射鏡)103とが形成されている。ただし図6では詳細の図示は省略している。
- [0193] なお、第1下部半導体DBR102および第2下部半導体DBR103では、DBRを構成する各層の間にAl組成を一方の値から他方の値に徐々に変化させた厚さ20nmの組成傾斜層を挿入しており、傾斜層を含めた厚さが、媒質内における発振波長の $1/4$ 倍となるように設定されている。かかる構成により、DBRに通電する場合、高屈折率層と低屈折率層の間のバンド不連続を緩和でき、DBRの抵抗を低減できる。
- [0194] さらに、前記第2下部半導体DBR103上には、前記第2下部半導体DBR103と格子整合する $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5})\text{P}$ 下部第1スペーサ(クラッド)層104Aと、前記 $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5})\text{P}$ 下部第1スペーサ(クラッド)層と格子整合する $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 下部第2スペーサ層と104Bと、圧縮歪組成を有しバンドギャップ波長が780nmとなる3層のGa

InPAs井戸層104a、および基板に対して格子整合組成を有する2層の $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 障壁層104bを、交互に積層した量子井戸活性層104cと、 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 上部第2スペーサ層104dと、 $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 上部第1スペーサ(クラッド)層104eとが順次積層されている。

[0195] 前記半導体層104A-104Eは1波長分の共振器104を形成し、前記共振器104上には、 $\text{p-AlGa}_x\text{As}_{1-x}$ ($x=0.9$) 低屈折率層と $\text{p-AlGa}_x\text{As}_{1-x}$ ($x=0.3$) 高屈折率層とを交互に例えば25周期積層した周期構造よりなる上部半導体DBR(上部反射鏡)105が形成されている(図6では詳細は省略)。本実施例では、前記上部反射鏡105においても、前記下部反射鏡102, 103と同様に、低屈折率層と高屈折率層との間に組成傾斜層を挿入している。

[0196] さらに前記上部反射鏡105上には、 p-GaAs コンタクト層106が形成されている。先にも述べたように本実施例では、下部反射鏡103と上部反射鏡105との間には発振波長の1波長分の厚さの共振器(いわゆるラムダキャビティ)104が形成される。

[0197] 以下、本実施例6の面発光レーザダイオード160の製造工程を説明する。

[0198] 本実施例では、半導体層102-106の成長は、MOCVD法により行ない、その際、原料には、TMG(トリメチルガリウム)、TMA(トリメチルアルミニウム)、TMI(トリメチルインジウム)、 PH_3 (フォスフィン)、 AsH_3 (アルシン)を必要に応じて用いる。またn型ドーパントとしては H_2Se (セレン化水素)を用い、p型ドーパントとしては CBr_4 を用いる。また、キャリアガスには H_2 を用いる。

[0199] MOCVD法は、原料ガス供給量を制御することで、組成傾斜層のような構成を容易に形成できるので、DBRを含んだ面発光レーザダイオードの結晶成長方法として特に適している。また、MBE法のような高真空を必要とせず、原料ガスの供給流量や供給時間を制御すれば良いので、量産性にも優れている。また本実施例6では、p側DBR(上部反射鏡)105中で活性層104Cに近い低屈折率層の一部をAlAs層107により形成している。

[0200] このようなVCSEL積層構造が形成されると、所定の深さのメサエッチングを、少なくとも前記 p-AlAs 層107の側壁面が露出するように実行し、メサ構造Mを形成する。さらに前記メサ構造Mにより露出されたAlAs層107を、水蒸気中において前記露出

側壁面から始めて酸化し、前記AlAs層107中に Al_xO_y 電流狭窄部107Aを形成する。

[0201] さらに、メサエッチングにより形成されたメサ構造Mの周囲の空間をポリイミド膜108で埋め込んで平坦化し、その後、前記p-コンタクト層106と上部反射鏡上の所定の光出射部109Aから前記ポリイミド膜108を除去し、さらに前記p-コンタクト層106上に、前記光出射部109Aを避けてp側電極109を形成する。また、前記基板101の裏面にn側電極110を形成する。

[0202] 前記実施例6では、AlとAsを主成分とした被選択酸化層107の選択酸化により電流狭窄を行うため、しきい値電流が低減される。前記被選択酸化層107を選択酸化して形成したAl酸化膜107Aを電流狭窄層に用いた電流狭窄構造では、電流狭窄層107Aを活性層104Cに近づけて形成でき、注入ホールの拡散が抑制され、大気に触れない微小領域に効率良くキャリアを閉じ込めることができる。さらにこのような電流狭窄構造では、AlAs膜107が酸化してAl酸化膜107Aとなる際に屈折率が減少し、凸レンズ効果により、キャリアが閉じ込められた微小領域に光を効率良く閉じ込めることが可能となり、誘導放出の効率が大きく向上する。これに伴い、しきい値電流が低減される。また、かかる構成では、容易に電流狭さく構造を形成できることから、面発光レーザダイオードの製造コストを低減することが可能になる。

[0203] なお実施例6の面発光レーザダイオード160では、スペーサ層の一部104A, 104EにAlGaInPを用い、障壁層や量子井戸活性層にはGaInPAsを用いており、また半導体層を、面方位が(111)A面方向に15° 傾斜した(100)GaAs基板上に形成しているので、自然超格子の形成によるバンドギャップの低下やヒロック(丘状欠陥)発生による表面性の悪化、さらには非発光再結合センタの影響を低減することが可能となる。

[0204] また、前記面発光レーザダイオード160では、スペーサ層(クラッド層)104A, 104Eとしてワイドバンドギャップ材料である $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5})\text{P}$ を用いている。このため、スペーサ層104A, 104Eと量子井戸活性層104aとの間のバンドギャップ差は、前記スペーサ層をAlGaAsで形成した場合の466meV(Al組成0.6の場合)に比べて、743meVに増大する。また障壁層104bと量子井戸活性層104aとの間のバンドギャ

ップ差についても、前記面発光レーザダイオード160では優位であり、良好なキャリア閉じ込めが実現される。

- [0205] また、前記量子井戸活性層104aが圧縮歪を蓄積しているため、ヘビーホールとライトホールのバンド分離による利得の増加も得られる。これらにより、面発光レーザダイオード160は極めて高利得を有し、低いしきい値で高出力動作が可能である。
- [0206] また、量子井戸活性層104aと障壁層104bは、Alを含んでいない材料から構成されているため、これらの層への酸素の取り込みが低減され、非発光再結合センタの形成を抑えることが可能となる。これにより、長寿命の面発光レーザダイオードを実現することができる。
- [0207] また、本実施例による面発光レーザダイオード160では、偏光方向の制御を、基板の傾斜による光学利得異方性を利用して実現している。
- [0208] 現在、最有力視されている(311)B基板(傾斜角が 25°)を用いた面発光レーザダイオードに比べると、本実施例による面発光レーザダイオードでは傾斜角が小さく(15°)、このため光学利得異方性は小さくならざるを得ない。そこで実施例6の面発光レーザダイオード160では、この光学利得異方性の低下分を、量子井戸活性層に圧縮歪を与えることによる光学利得異方性の増大により補償する。かかる構成により、満足しうる偏光制御が実現できる。
- [0209] このように、本発明の実施例6によれば、活性層104aの利得が大きく、また放熱が改善され、これによりレーザ発振のしきい値が低く、信頼性に優れて、偏光方向が制御された、波長780nm帯域の高出力面発光レーザダイオードを実現することができる。
- [0210] なお上記の本発明の効果は、より短波長帯域では減少するものの、680nmよりも長波長帯域で顕著に現れる。例えばAlGaAs/AlGaAs系活性層を使った780nm帯域面発光レーザダイオードの場合と比較すると、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$)系スペーサ層の典型的な組成範囲で最もバンドギャップが大きい $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=0.6$, $E_g=2.0226\text{eV}$)と組成波長780nm ($E_g=1.5567\text{eV}$)の活性層とのバンドギャップ差は、 $(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})\text{In}_b\text{P}$ ($0 < a \leq 1$, $0 \leq b \leq 1$)スペーサ層の典型的な組成範囲で最もバンドギャップが大きい $(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})\text{In}_b\text{P}$ ($a=0.7$, $b=0.5$, $E_g=2.289\text{eV}$)

V)と組成波長680nm($E_g=1.8233\text{eV}$)の活性層とのバンドギャップ差(460meV)とほぼ等しいことに注意すべきである。

- [0211] また障壁層と量子井戸活性層とのバンドギャップ差については、例えば障壁層を $\text{GaIn}_{1-e}\text{PAs}_{1-f}$ ($e=0.6, f=1, E_g=2.02\text{eV}$)とすれば、組成波長680nmの活性層とのバンドギャップ差がおおよそ200meVとなり、AlGaAs/AlGaAs系活性層による780nm面発光レーザダイオードの場合とほぼ同等となる。
- [0212] これは、AlGaInP系スペーサ層を用いることで、組成波長が680nmよりも長波長であれば、Alフリー活性層(量子井戸活性層と障壁層)を用いても、AlGaAs/AlGaAs系活性層による780nm帯域の面発光レーザダイオードの場合と同等以上のキャリア閉じ込めが可能となることを意味する。更に歪量子井戸活性層の効果も勘案すると、本実施例による面発光レーザダイオードによれば、上記従来のAlGaAs/AlGaAs系活性層を使った780nm帯域面発光レーザダイオードと同等以上の特性を得ることが可能となる。

実施例 7

- [0213] 次に、本発明の実施例7による面発光レーザダイオードを説明する。
- [0214] 図8は実施例7の面発光レーザダイオード180の上面図である。実施例7の面発光レーザダイオード180は、実施例6の面発光レーザダイオード160と同一の断面構造を有するが、面発光レーザダイオードの光出射方向から見たメサ構造Mが、(111)A面方向に長い長楕円形状となるように異方性を設けて形成した点で相違している。従って、面発光レーザダイオード180の断面構造についての説明は省略する。また、このようにメサ構造が長楕円形状となる結果、本実施例では、Al酸化膜107Aにより画成された電流注入領域107の形状も、(111)A面方向に長い形状となる。なお、上記異方性形状は、長楕円形状に限らず、長方形などの他の形状でも良い。
- [0215] 本実施例では、偏光制御に、基板101の傾斜による光学利得異方性を利用している。しかし、現在、最有力視されている(311)B基板(傾斜角が 25°)を偏光制御に用いた場合に比べ、傾斜角が小さく(15°)、このため光学利得異方性は小さくならざるを得ない。
- [0216] 実施例7では、かかる光学利得異方性の低下を、量子井戸活性層104aに圧縮歪

を与えることで光学利得異方性を増大させることにより、また前記面発光レーザダイオード180の光出射方向から見た活性層の外周形状に異方性を持たせ、より具体的には(111)A面方向に長い形状とすることにより、基板傾斜方向((111)A面方向)の光学的利得を増大させることにより補償しており、(311)B基板利用と比べて劣らない偏光制御が実現できる。

実施例 8

[0217] 次に、本発明の実施例7による面発光レーザダイオードを説明する。

[0218] 図9は実施例8の面発光レーザダイオード200の構成を示す。

[0219] 図9の面発光レーザダイオード200は、前記実施例6の面発光レーザダイオード160と同様な構成を有しており、図9は、前記図7に対応した、実施例8の面発光レーザダイオードの活性層周辺の領域の拡大図を示している。

[0220] 図9を参照するに、実施例8の面発光レーザダイオード200は実施例6の面発光レーザダイオード160に対し、障壁層104bとして、引っ張り歪を有する $\text{Ga}_{0.6}\text{In}_{0.4}\text{P}$ を用いた点で相違している。また、実施例8では、引っ張り歪を有する $\text{Ga}_{0.6}\text{In}_{0.4}\text{P}$ の障壁層104bを、第1量子井戸活性層104aの下、及び第3量子井戸活性層104aの上にも設けている。他の構造は、前記図6の面発光レーザダイオード160と同様である。

[0221] GaInPAs系材料では、同一格子定数で比較すると、GaInPのバンドギャップが最も大きい。またGaInPAsを障壁層14bに使う場合、格子定数が小さい組成の方が大きなバンドギャップを確保できるので、量子井戸活性層104aとのバンド不連続を更に増大でき、利得が増加し、更なる低しきい値動作および高出力動作が可能となる。例えば、本実施例8で使われる $\text{Ga}_{0.6}\text{In}_{0.4}\text{P}$ 引っ張り歪層のバンドギャップは2.02eVであるが、このバンドギャップは、バンドギャップが1.87eVの実施例6の $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 格子整合層よりも、150meVも大きい。

実施例 9

[0222] 図10は本発明の実施例9による、面発光レーザダイオードレイ220の構成を示す上面図である。

[0223] 図10を参照するに、前記面発光レーザダイオードレイ220では、実施例8の面発光

レーザダイオード200が基板101上に10素子、1次元に配列されている。ただし、実施例9では、面発光レーザダイオード220のp側とn側を実施例8の面発光レーザダイオードとは逆にしている。すなわち、実施例9では、面発光レーザダイオード220が形成されるGaAs基板101は、基板であり、上面にn側個別電極パッド109が、裏面にp側共通電極110が形成されている。

- [0224] 図10の例では、複数の面発光レーザダイオード200を1次元に配列したが、これらの面発光レーザダイオードを2次元に配列しても良い。

実施例 10

- [0225] 図11は、本発明の実施例10の光送信モジュール240を示す。
- [0226] 図11を参照するに、光送信モジュール240は、図10の面発光レーザダイオードレイチップ220に、安価なアクリル系POF（プラスチック光ファイバー）240を組み合わせた構成を有し、個々の面発光レーザダイオード200からのレーザ光241Aが、対応するPOF241に注入され、伝送される。
- [0227] アクリル系POFは最小吸収損失が650nmの波長にあり、このため従来、650nmの面発光レーザダイオードが検討されている。しかし、650nm帯域の従来の面発光レーザダイオードは高温特性が悪く、実用にはなっていない。このような事情で、従来、このようなPOFを使う光送信モジュールにはLEDが使われているが、LEDでは高速変調が困難である。1Gbpsを越えた高速伝送実現のためには半導体レーザが必須と考えられる。
- [0228] 上記実施例10の光送信モジュール240に用いられる面発光レーザダイオード200では、レーザ発振波長は780nmであるが、放熱特性が優れ、活性層利得が大きいので、高出力動作が可能であり、また高温特性にも優れているため、POFによる吸収損失の問題はあっても、短距離であれば十分に光伝送が可能である。
- [0229] 光通信の分野では、同時により多くのデータを伝送するために、複数の半導体レーザが集積したレーザアレイを用いた並列伝送が試みられている。これにより、高速な並列伝送が可能となり、従来よりも多くのデータを同時に伝送できるようになる。
- [0230] 図11に示す本実施例10では、面発光レーザダイオードレイの各面発光レーザダイオード素子200と光ファイバ241とを1対1に対応させたが、発振波長の異なる複数

の面発光レーザダイオード素子を1次元または2次元にアレイ状に配置して、単一の光ファイバを介して波長多重送信することにより伝送速度を更に増大させることも可能である。

- [0231] さらに、本実施例では安価な面発光レーザダイオード素子200と安価なPOF241とを組み合わせたので、低コストの光送信モジュールを実現でき、これを用いて低コストの光通信システムを実現できる。かかる光通信システムは極めて低コストであるため、家庭用、オフィスの室内用、機器内用等の短距離のデータ通信に有効である。

実施例 11

- [0232] 図12は、本発明の実施例11による光送受信モジュール260の構成を示す。

- [0233] 図12を参照するに、光送受信モジュール260は、実施例8の面発光レーザダイオード素子200と、受信用フォトダイオード261と、アクリル系POF262とを組み合わせた構成を有する。

- [0234] 本発明の面発光レーザダイオード素子200およびPOF262はいずれも安価であり、本発明による面発光レーザダイオード素子200を光通信システムに用いた光送受信システム260では、図12に示すように、送信用の面発光レーザダイオード素子200と受信用フォトダイオード261とを単一のPOF262と組み合わせて光送受信モジュールを構成することにより、低コストの光通信システムを実現できる。

- [0235] また、POFはファイバの径が大きくてファイバとのカップリングが容易で実装コストを低減できることを勘案すると、光送受信モジュール260の費用はさらに低減できる。また、本発明の面発光レーザダイオード素子200では温度特性が優れ、レーザ発振しきい値が低いことから、発熱が少なく、高温まで冷却なしで使える低コストの光通信システムを実現できる。

- [0236] 本実施例による光通信システム260は、POFを用いたLAN(Local Area Network)などのコンピュータ等の機器間光伝送、さらには機器内のボード間光伝送、ボード内のLSI間での光伝送、さらにはLSI内の素子間等の光インターコネクションなど、特に短距離通信に有効である。

- [0237] ところで近年、LSI等の処理性能は向上しているが、今後は、これらを接続する部分の伝送速度がボトルネックとなることが予測される。

- [0238] しかし、システム内の信号接続を従来の電気接続から光インターコネクトに変更し、例えばコンピュータシステムのボード間、ボード内のLSI間、LSI内の素子間等を、本実施例の光送信モジュール240や光送受信モジュール260を用いて接続することにより、超高速コンピュータシステムが実現される。
- [0239] また、複数のコンピュータシステム等を本発明に係る光送信モジュール220や光送受信モジュール260を用いて接続した場合、超高速ネットワークシステムが構築できる。特に面発光レーザダイオード素子は、端面発光レーザダイオードに比べて桁違いに低消費電力化でき2次元アレイの形成が容易なので、並列伝送型の光通信システムの構築に特に適している。

実施例 12

- [0240] 図13は、本実施例12によるレーザプリンタ280の構成を示す。ただし図13のレーザプリンタ280は、発振波長が780nmの前記実施例8の面発光レーザダイオード200を、GaAs基板101上に4×4二次元アレイ配置した面発光レーザダイオードアレイチップ(16ビームVCSELアレイ)281を、感光体ドラム282と組み合わせている。図13は、特に前記レーザプリンタ280の光走査部分の概要を示す。
- [0241] 図14は、図13のレーザプリンタ280に用いられる前記面発光レーザダイオードレイチップ(16ビームVCSELアレイ)281の概略構成を示す上面図である。このような面発光レーザダイオードレイチップ(16ビームVCSELアレイ)281は、点灯のタイミングを調整することで、前記感光体282上で光源が、図14に示すように副走査方向V-SCANに10 μ m間隔で配列している場合と等価な状況を実現できる。
- [0242] 本実施例12では、このように複数の面発光レーザダイオードレイ200からの複数の光ビームを、レンズ283を含む光学系を用いて走査用ポリゴンミラー284に集束させ、さらに前記ポリゴンミラー284を高速回転させ、さらに点灯のタイミングを調整して副走査V-SCAN方向に配列した複数の光スポットを形成し、これを、いわゆるf- θ レンズ285を介して、被走査面である感光体上282に集光し、像形成を行う。すなわち本実施例によれば、像形成が、一度に複数のビームを走査してなされる。
- [0243] 本実施例12によれば、前記感光体282上に、副走査方向V-SCAN上、約10 μ mの間隔で光書き込みが可能となるが、これは2400DPI(ドット/インチ)の解像度

に相当する。一方、主走査方向－HSCANでの書き込み間隔は、光源の点灯タイミングにより、容易に制御できる。

[0244] 本実施例のレーザプリンタ280では、16ドットを同時に書き込み可能であり、高速印刷が可能になる。また、アレイ中の面発光レーザダイオード200数を増加させることにより、更に高速印刷が可能になる。また、面発光レーザダイオード素子200の間隔を調整することで、前記副走査H－SCAN方向のドット間隔を調整でき、例えば240 ODPIよりも高密度な、すなわちより高品質の印刷が可能となる。本実施例12による面発光レーザダイオードは、従来の面発光レーザダイオードよりも効率が恒常しているとともに、放熱特性に優れ、複数素子が同時に動作しても高出力を保つことができ、印刷速度を従来よりも早くすることができる。

[0245] なお、実施例12ではレーザのレーザプリンタ応用例を示したが、本発明の面発光レーザダイオードは、その他の画像形成装置にも適用可能である。また、CD等の記録用、再生用光源としても用いることができる、すなわち、本発明は、光ピックアップシステムにも適用可能である。さらに、本発明は、光電融合集積回路などにも適用可能である。

なお、前記実施例9～実施例12において、前記面発光レーザダイオード200の代わりに、先に説明した、あるいは以下に説明する、いずれの実施形態の面発光レーザダイオードを使うことも可能である。

(第12の実施形態)

本発明の第12の実施形態を図15及び図16に基づいて説明する。本発明の第12の実施形態は、本発明の面発光レーザダイオードの原理的構成例及びその動作例に関する。

(1) 第一の構成例

まず、本発明の第12の実施形態の第一の構成例による面発光レーザダイオードは、GaAs基板と、前記GaAs基板上に形成され、レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性層と障壁層とを有する活性層を含んだ共振器領域と、前記GaAs基板上、前記共振器領域の上部及び下部に設けられた上部反射鏡及び下部反射鏡と、を含み、前記上部反射鏡および／または下部反射鏡は半導体分布ブラッグ反射鏡

を含み、前記半導体分布ブラッグ反射鏡の少なくとも一部は、Al, Ga, Asを主成分として含む半導体層よりなり、前記活性層とAl, Ga, Asを主成分として含む半導体層との間に、Al, Ga, Asを主成分として含む半導体層に接して、Al, In, Pを主成分として含む半導体層を備え、前記Al, Ga, Asを主成分として含む前記半導体層と前記Al, In, Pを主成分として含む前記半導体層との界面が、電界強度分布の節の位置に一致して形成された面発光レーザダイオードであることを特徴としている。

[0246] 前記第一の構成例の面発光レーザダイオードにおいて、Al, In, Pを主成分として含む前記半導体層は、例えば、 $(\text{Al}_a \text{Ga}_{1-a}) \text{In}_b \text{P}_{1-b}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$)より構成される。

[0247] 従来の面発光レーザダイオードは、共振器領域と反射鏡との界面が電界強度分布の腹の位置となるように構成され、かつ、前記共振器領域の最上部にはAl, In, Pを主成分として含む半導体層が設けられている。従って、Al, Ga, Asを主成分として含む半導体層よりなる上部反射鏡との界面は、光吸収の影響が大きく現れる腹の位置に形成されている。ところが、Al, In, Pを主成分として含む半導体層上にAl, Ga, Asを主成分として含む半導体層を結晶成長する場合、Inのキャリアオーバーなど、Inの分離が生じやすく、これを抑える必要があるが、従来、しきい値上昇を避けるのは困難であった。なお、この問題は、Al, In, Pを主成分として含む半導体層上にAl, Ga, Asを主成分として含む半導体層を結晶成長する場合に顕著である。

[0248] これに対し、上記第一の構成例の面発光レーザダイオードにおいては、図15に示すように、Al, In, Pを主成分として含む半導体層1とAl, Ga, Asを主成分として含む半導体層(上部反射鏡の一部)2との界面3を電界強度分布の節ANの位置とすることで、界面3における光学的吸収の影響が大幅に低減するように設計しており、上記Inの分離がある程度生じて、レーザ発振しきい値の増加を大幅に抑制することができる。なお、図1において、電界強度分布の腹をNで表している。

[0249] ここで、Al, In, Pを主成分として含む半導体層1とAl, Ga, Asを主成分として含む半導体層(上部反射鏡の一部)2との間に、薄いIn分離抑制層を設け、Inの分離を低減すると更に良い。

[0250] 前記Al, In, Pを主成分として含む半導体層1としては、例えば $(\text{Al}_a \text{Ga}_{1-a}) \text{In}_b \text{P}_{1-b}$

($0 < a \leq 1$, $0 \leq b \leq 1$)層が挙げられる。かかる構成により、AlGaInP層を用いることが必須となる650nm帯などの赤色面発光レーザダイオードはもちろんのこと、780nm帯、850nm帯など、波長に関係なくAlGaInP層を用いた面発光レーザダイオードにおいて、しきい値低減の効果が得られる。

(2) 第二の構成例

本発明の第12の形態の第二の構成例による面発光レーザダイオードは、GaAs基板と、前記GaAs基板上に形成され、レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性層と障壁層とを有する活性層を含んだ共振器領域と、前記GaAs基板上、前記共振器領域のそれぞれ上部及び下部に設けられた上部反射鏡及び下部反射鏡とを含み、前記上部反射鏡および／または下部反射鏡は半導体分布ブラッグ反射鏡を含み、前記半導体分布ブラッグ反射鏡の少なくとも一部は、Al, Ga, Asを主成分として含む半導体層よりなり、前記活性層と前記Al, Ga, Asを主成分として含む半導体層との間に、前記Al, Ga, Asを主成分として含む半導体層に接して、Al, In, Pを主成分として含む $(\text{Al}_a \text{Ga}_{1-a}) \text{In}_b \text{P}_{1-b}$ ($0 < a \leq 1$, $0 \leq b \leq 1$)層を有し、前記Al, In, Pを主成分として含む $(\text{Al}_a \text{Ga}_{1-a}) \text{In}_b \text{P}_{1-b}$ ($0 < a \leq 1$, $0 \leq b \leq 1$)層には、p型ドーパントとしてMg(マグネシウム)が添加され、前記Al, Ga, Asを主成分として含む半導体層には、p型ドーパントとしてC(炭素)が添加されている面発光レーザダイオードであることを特徴としている。

[0251] Al, In, Pを主成分として含む半導体層のp型ドーパントとしてはZn(亜鉛)が一般的に用いられているが、Znは拡散係数が大きく、活性層、または活性層の近くまで拡散してしまい、結晶性の劣化による発光効率の低下や、吸収損失の増大などにより、素子特性を劣化させてしまう問題を有している。

[0252] これに対し、p型ドーパントとして使えるMgは拡散係数がZnよりも小さく、上記問題を改善できるが、Al, Ga, Asを主成分として含む半導体層では、Cの拡散係数の方がより小さい。また、Asを含む材料にMgを添加すると、メモリー効果によりドーピングの制御性が劣化する。

[0253] したがって本構成例では、Al, In, Pを主成分として含む半導体層には主にMgを添加し、Al, Ga, Asを主成分として含む半導体層にはCを主に添加した。これにより

、ドーパントの拡散やメモリー効果が低減でき、ドーピングの制御性が向上し、設計に近いドーピングプロファイルが得られる。またに活性層の結晶性劣化が抑えられ、低いしきい値で高出力動作が実現される。

(3) 第三の構成例

本発明の第12の形態の第三の構成例による面発光レーザダイオードは、GaAs基板と、前記GaAs基板上に形成され、レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性層と障壁層とを有する活性層を含んだ共振器領域と、前記GaAs基板上、前記共振器領域の上部及び下部に設けられた上部反射鏡及び下部反射鏡と、を含み、前記上部反射鏡および／または下部反射鏡は半導体分布ブラッグ反射鏡を含み、前記半導体分布ブラッグ反射鏡の少なくとも一部は、Al, Ga, Asを主成分として含む半導体層よりなり、前記活性層とAl, Ga, Asを主成分として含む半導体層との間に、前記Al, Ga, Asを主成分として含む半導体層に接して、Al, In, Pを主成分として含む $(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})\text{In}_b\text{P}_{1-b}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$)層を設け、前記 $(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})\text{In}_b\text{P}_{1-b}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$)層は、AlInPとGaInPとよりなる短周期超格子構造により構成された半導体層である面発光レーザダイオードであることを特徴とする。

[0254] 材料によって異なるが、半導体層の熱抵抗は、半導体材料を構成する元素の数が多いほど増大する。このため、4元材料であるAlGaInPは大きな熱抵抗を有する。そこで、このような活性層で発生した熱は容易に散逸せず、活性層中に蓄積され、活性層の温度上昇を招く。このため従来、わずかな注入電流で光出力が飽和してしまうという問題が生じていた。

[0255] 面発光レーザダイオードでは、発振光の波長よりも充分薄い厚さの層を交互に積層した超格子構造を形成した場合、光学的には、これらの層が一様に混合した平均組成の混晶が形成されている場合と同様であるとみなすことができる。ただし、屈折率については、超格子構造にすることで、わずかに高屈折率化するとの報告もある。したがって、このような超格子構造により構成された半導体層を用いて反射鏡などを構成することができる。

[0256] ここで、4元材料であるAlGaInPよりも3元材料であるAlInPやGaInPの熱抵抗は小さいことから、しかも、AlGaInPと同様に、AlInPやGaInPもGaAs基板に格子整

合させることから、本構成例では面発光レーザダイオード中に、従来一様組成AlGaInPであった半導体層の代わりに、その平均組成より熱抵抗の小さい少なくとも2つの材料を選択して超格子構造を形成することで、熱抵抗を低減する。これにより、活性層で発生した熱を効率的に放熱することができ、電流注入による活性層温度上昇を低減でき、従来よりも高いレベルに電流注入が可能となり、出力が上昇し、結果として高出力動作可能な面発光レーザダイオードを得ることができる。

(4) 第四の構成例

本発明の第12の形態の第四の構成例による面発光レーザダイオードは、GaAs基板と、前記GaAs基板上に形成され、レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性層と障壁層とよりなる活性層を含んだ共振器領域と、前記GaAs基板上に、前記共振器領域の上部及び下部に設けられた上部反射鏡及び下部反射鏡と、を含み、前記上部反射鏡および／または下部反射鏡は半導体分布ブラッグ反射鏡を含み、前記半導体分布ブラッグ反射鏡の少なくとも一部は、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$) による低屈折率層と $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 \leq y < x \leq 1$) による高屈折率層とよりなり、前記上部反射鏡および／または下部反射鏡を構成する前記低屈折率層のうちで少なくとも前記活性層に最も近い低屈折率層は、 $(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})\text{In}_b\text{P}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$) よりなり、前記共振器領域と前記上部反射鏡および／または下部反射鏡の活性層に最も近い低屈折率層との界面を電界強度分布の腹の位置とした面発光レーザダイオードであることを特徴とする。

[0257] 図16に前記第四の構成例による面発光レーザダイオードの構成を示す。

[0258] 図16を参照するに、前記第四構成例による面発光レーザダイオードでは、従来一般的な構成に従って、活性層307を含む共振器領域304と上部反射鏡305との界面306が電界強度分布の腹ANに一致する構成としているが、特に図2の構成では、前記上部反射鏡305中、最も活性層307に近い低屈折率層 ($\lambda/4$ の厚さ) 308を、 $(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})\text{In}_b\text{P}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$) により形成することで、前記 $(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})\text{In}_{1-b}\text{P}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$) 層308上にAl, Ga, Asを主成分として含む半導体層(上部反射鏡305)を結晶成長する場合の界面309を、電界強度分布の節Nに一致させている。これにより、界面309における光学的吸収の影響が大幅に低減でき、Inの分

離がある程度生じて、しきい値の増加を効果的に抑制することができる。なお、図16において、符号310は下部反射鏡(一部)である。また、図16中、前記上部反射鏡305は、その一部のみが図示されている。

- [0259] また図16の構成において、前記下部反射鏡310を、基板側から順番に、低屈折率層がAlAsよりなる第一下部反射鏡と、低屈折率層が $\text{Al}_{x1}\text{Ga}_{1-x1}\text{As}$ ($0 < x1 < 1$)よりなる第二下部反射鏡と、少なくとも1層よりなる $(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})_{1-b}\text{In}_b\text{P}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$)低屈折率層とから構成することができる。
- [0260] AlAsの熱抵抗は、Gaをわずかに含ませるだけで急激に増大する。これに対し、前記下部反射鏡310は、低屈折率層に熱抵抗の小さいAlAsを含んでいるので、活性層307で発生する熱の放熱性が改善し、駆動時の温度上昇が抑制され、温度特性が良好で高出力な面発光レーザダイオードが得られる。なお、Al酸化膜を利用した電流狭窄構造を採用した構造の場合、AlAs低屈折率層を用いた第一下部反射鏡とInを含んだ層との間に、Al組成の小さいAlGaAs低屈折率層よりなる第二下部反射鏡を設けることで、メサ形成のエッチングはAl酸化膜となる被選択酸化層と第一下部反射鏡のAlAsとの間で停止し、エッチングを容易に制御することができる。
- [0261] また図16の構成において、前記上部反射鏡305または下部反射鏡310中に $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 \leq y < x \leq 1$)よりなる高屈折率層と $(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})_{1-b}\text{In}_b\text{P}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$)よりなる低屈折率層とが積層される場合、これらの界面に、前記 $(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})_{1-b}\text{In}_b\text{P}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$)低屈折率層よりもAl組成の小さい $(\text{Al}_{a1}\text{Ga}_{1-a1})_{b1}\text{In}_{1-b1}\text{P}$ ($0 \leq a1 < a \leq 1, 0 \leq b1 \leq 1$)よりなる中間層(In分離抑制層)を設けることができる。
- [0262] このようにAl組成の小さい中間層を挿入することで、 $(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})_{1-b}\text{In}_b\text{P}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$)低屈折率層上に $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 \leq y < x \leq 1$)高屈折率層を積層する場合に、その界面でのAl組成が減少し、 $(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})_{1-b}\text{In}_b\text{P}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$)低屈折率層上に $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 \leq y < x \leq 1$)高屈折率層を広い条件範囲で容易に形成できる。
- [0263] 更に、AlGaAs系材料とAlGaInP系材料とのヘテロ接合では、AlGaInP系材料のAl組成が大きい場合、価電子帯のバンド不連続が増大するが、Al組成の小さい中間層が挿入されているため、価電子帯のバンド不連続が減少し、積層方向への電気抵抗を減少させることが可能になる。

[0264] また、前記上部反射鏡305あるいは下部反射鏡310のうち、p型反射鏡を構成する前記半導体分布ブラッグ反射鏡においては、 AlGa_xAs ($0 < x \leq 1$) 低屈折率層および AlGa_yAs ($0 \leq y < x \leq 1$) 高屈折率層にp型ドーパントとしてC(炭素)を添加し、さらに、前記 $(\text{AlGa}_{1-a})\text{In}_b\text{P}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$) よりなる低屈折率層308には、p型ドーパントとしてMg(マグネシウム)が添加するように構成してもよい。

[0265] また、前記 $(\text{AlGa}_{1-a})\text{In}_b\text{P}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$) 低屈折率層308は、AlInPとGaInPとよりなる短周期超格子構造により構成された半導体層であっても良い。

(5) 第五の構成例

本発明の第12の形態の第五の構成例による面発光レーザダイオードは、前記第四の構成例の面発光レーザダイオードにおいて、前記活性層と前記上部反射鏡および／または下部反射鏡との間に、スペーサ層が設けられており、前記スペーサ層の一部は、前記AlGaInP低屈折率層よりもバンドギャップが小さい $(\text{AlGa}_{1-a'})\text{In}_{b'}\text{P}$ ($0 \leq a' \leq 1, 0 \leq b' \leq 1$) 層よりなり、前記量子井戸活性層は、圧縮歪を有する GaIn_cPAs ($0 \leq c \leq 1, 0 \leq d \leq 1$) 層よりなり、かつ、前記障壁層は、 $\text{GaIn}_{1-e}\text{PAs}_f$ ($0 \leq e \leq 1, 0 \leq f \leq 1$) よりなる構成を有する面発光レーザダイオードであることを特徴とする。

[0266] 即ち、図16の例では、上部反射鏡305を構成する低屈折率層のうちで少なくとも活性層307に最も近い低屈折率層をAlGaInP層とし、障壁層や量子井戸活性層にはGaInPAs系材料を用いている。

[0267] そこで、ワイドギャップ材料である $(\text{AlGa}_{1-a})\text{In}_b\text{P}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$) 低屈折率層、及び $(\text{AlGa}_{1-a'})\text{In}_{b'}\text{P}$ ($0 \leq a' \leq 1, 0 \leq b' \leq 1$) スペーサ層をキャリア閉じ込めのクラッド層として使うことができ、キャリア閉じ込めのクラッド層をAlGaAs系で形成した場合に比べ、クラッド層と量子井戸活性層とのバンドギャップ差をさらに増大させることができる。ここで、スペーサ層は、通常構成の場合には活性層と反射鏡の間にあたる層のことであって、キャリアを閉じ込めるためのクラッド層としての機能を有している層を指している。

[0268] キャリア閉じ込め層について見ると、スペーサ層のほかに活性層に最も近いDBRの低屈折率層も機能を有している場合がある。本第五の構成例の場合では、 (AlGa_{1-a})

$_{-a'}_{b'}\text{In}_{1-b'}\text{P}$ ($0 \leq a' \leq 1, 0 \leq b' \leq 1$) スペーサ層と $(\text{Al}_{1-a}\text{Ga}_a)_{1-b}\text{In}_b\text{P}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$) 低屈折率層がクラッド層としての機能を有することができる。

- [0269] 例えば先の実施形態で説明した表2を参照するに、AlGaInP(スペーサ層)/GaInPAs(量子井戸活性層)系780nm面発光レーザダイオードでは、スペーサ層にバンドギャップ E_g が2.289eVの $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層を使い、量子井戸活性層にバンドギャップ1.5567eVの圧縮歪みを蓄積したGaInPAs層を使い、障壁層にバンドギャップ E_g が2.02eVの引張り歪みを蓄積した $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}$ を使うことにより、AlGaAs/AlGaAs系780nm面発光レーザダイオードはもとより、AlGaAs/AlGaAs系850nm面発光レーザダイオードよりも、スペーサ層と量子井戸層との間で、また障壁層と量子井戸層との間で、大きなバンドギャップ差を確保できることがわかる。
- [0270] また、前記表2を参照するに、活性層307を圧縮歪組成の量子井戸層により形成することにより、先の実施形態でも説明したようにヘビーホールとライトホールのバンド分離が増大し、利得が増加し、しきい値が低減され、レーザ発振効率が向上し、レーザ出力が増大する。この効果は、AlGaAs/AlGaAs系850nm面発光レーザダイオードでは得られないことに注意すべきである。
- [0271] このように、本発明の第12の実施形態の第五構成例によれば、AlGaAs/AlGaAs系850nm面発光レーザダイオードよりも低いしきい値の高効率・高出力面発光レーザダイオードが得られることがわかる。また本構成例では、キャリア閉じ込め効率が向上し、歪量子井戸活性層を使うことによる利得の増大によっても、しきい値が低減され、これにより、光取り出し側DBR305の反射率低減が可能となる。これにより、面発光レーザの出力をさらに増大できる。
- [0272] また、前記量子井戸活性層307中の量子井戸層を $\text{Ga}_{1-c}\text{In}_c\text{P}_{1-d}\text{As}_d$ ($0 \leq c \leq 1, 0 \leq d \leq 1$)層により、また前記量子井戸活性層307中の障壁層を $\text{Ga}_{1-e}\text{In}_e\text{P}_{1-f}\text{As}_f$ ($0 \leq e \leq 1, 0 \leq f \leq 1$)層により構成することにより、前記活性層307を、Alを含んでいない材料から構成できる。これにより、先の第2の実施形態で説明したと同様に、前記活性層307中への酸素の取り込みが低減され、非発光再結合センタの形成が抑制され、長寿命の面発光レーザダイオードを実現できる。

- [0273] このように、本実施形態の第五の構成例によれば、スペーサ層の一部にAlGaInP材料を用い、障壁層や量子井戸活性層にはGaInPAsを用いることで、活性層の利得が大きく、しきい値が低減され、信頼性に優れた850nmより短い波長で動作する高出力面発光レーザダイオードを実現できる。
- [0274] なお、第五の構成例では、850nmよりも短い波長に限定しているが、これはこの波長域において従来に対する優位が極めて顕著に現れるために外ならず、850nmよりも長い波長であっても上記の好ましい効果は、大なり小なり得ることができる。
- [0275] また、第五の構成例においても、先の第4の実施形態で説明したように、面発光レーザダイオードの量子井戸活性層において障壁層として使われるGaInPAs系材料では、同一格子定数で比較するとGaInPのバンドギャップが最も大きい。また、格子定数が小さい材料の方が大きなバンドギャップを確保できる。すなわち、障壁層としてGaInP系の格子定数が小さい材料を使うことにより、障壁層と量子井戸活性層との間に大きなバンド不連続を実現でき、面発光レーザダイオードの利得を増大させることができる。これにより、面発光レーザダイオードは低いしきい値で、高出力動作が可能となる。例えば、 $\text{Ga}_{0.6}\text{In}_{0.4}\text{P}$ 引っぱり歪層のバンドギャップは2.02eVであり、 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 格子整合層のバンドギャップは1.87eVであり、 $\text{Ga}_{0.6}\text{In}_{0.4}\text{P}$ 引っぱり歪層のバンドギャップの方が150meV大きいことに注意すべきである。
- [0276] なお、前記第五の構成例では、AlGaInP層を活性層に最も近い低屈折率層として用いた前記第四の構成例をもとに説明したが、第一乃至第三の構成例において、前記活性層と前記反射鏡との間に設けられるスペーサ層の一部をAlGaInP層より構成し、前記量子井戸活性層を、圧縮歪を有する $\text{Ga}_c\text{In}_{1-c}\text{P}_d\text{As}_{1-d}$ ($0 \leq c \leq 1$, $0 \leq d \leq 1$)より構成し、前記障壁層を、 $\text{Ga}_e\text{In}_{1-e}\text{P}_f\text{As}_{1-f}$ ($0 \leq e \leq 1$, $0 \leq f \leq 1$)から構成した場合であっても、前記クラッド層をAlGaInPとし、障壁層や量子井戸活性層にGaInPAs系材料を用いた場合と同様な効果が得られる。
- [0277] すなわち、第三の構成例において、前記面発光レーザダイオードを、前記活性層と前記上部反射鏡および／または下部反射鏡との間にスペーサ層が設けられ、前記スペーサ層の一部は、AlGaInP層よりなり、前記量子井戸活性層は、圧縮歪みを蓄積した $\text{Ga}_c\text{In}_{1-c}\text{P}_d\text{As}_{1-d}$ ($0 \leq c \leq 1$, $0 \leq d \leq 1$)よりなり、前記障壁層を、 $\text{Ga}_e\text{In}_{1-e}\text{P}_f\text{As}_{1-f}$

$_{-f}$ ($0 \leq e \leq 1, 0 \leq f \leq 1$) よりなるように構成できる。

[0278] このように、組成が $(\text{Al}_{a'}\text{Ga}_{1-a'})_{b'}\text{In}_{1-b'}\text{P}$ ($0 \leq a' \leq 1, 0 \leq b' \leq 1$) スペーサ層を用いることで、スペーサ層を AlGaAs 系で形成した場合に比べ、スペーサ層と量子井戸活性層との間に非常に多き間バンドギャップ差を確保することが可能になる。また、量子井戸活性層を圧縮歪組成とすることで、しきい値が低減されレーザ発振の効率が向上し、面発光レーザダイオードは高出力化動作が可能になる。

[0279] さらに、このようなキャリア閉じ込め効率の向上、および歪量子井戸活性層の使用による利得増大により実現されるしきい値の低減により、光取り出し側 DBR305 の反射率低減が可能となり、さらに光出力を増大させることが可能になる。また、量子井戸活性層として $\text{GaIn}_{1-c}\text{PAs}_d$ ($0 \leq c \leq 1, 0 \leq d \leq 1$) を使い、障壁層として $\text{GaIn}_{1-e}\text{PAs}_{1-f}$ ($0 \leq e \leq 1, 0 \leq f \leq 1$) を使うことにより、活性層 307 が Al を含んでいない材料から構成され、活性層 307 中への酸素の取り込みが低減され、非発光再結合センタの形成を抑制して、長寿命の面発光レーザダイオードを実現することができる。

[0280] すなわち、本構成例によれば、活性層の利得が大きく、低いしきい値を有し、信頼性に優れた 850nm より短波長で動作する高出力面発光レーザダイオードが得られる。

(6) 第六の構成例

本発明の第 12 の形態の第六の構成例による面発光レーザダイオードは、前記第五の構成例の面発光レーザダイオードにおいて、発振波長がおおよそ 680nm より長波長とされていることを特徴とする。

[0281] 本構成の面発光レーザダイオードを、AlGaAs/AlGaAs 系活性層を有する 780nm 面発光レーザダイオードの場合と比較すると、AlGaAs/AlGaAs 系面発光レーザダイオードで使われる $\text{AlGa}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$) 系スペーサ層の典型的な組成範囲において最もバンドギャップが大きい $\text{AlGa}_{1-x}\text{As}$ ($x=0.6, E_g=2.0226\text{eV}$) と組成波長が 780nm ($E_g=1.5567\text{eV}$) の活性層とのバンドギャップ差は、本実施形態における面発光レーザダイオードで使われる $(\text{AlGa}_{1-a'})_{b'}\text{In}_{1-b'}\text{P}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$) スペーサ層の典型的な組成範囲で最もバンドギャップが大きい $(\text{AlGa}_{1-a'})_{b'}\text{In}_{1-b'}\text{P}$ ($a=0.7, b=0.5, E_g=2.289\text{eV}$) と組成波長 680nm ($E_g=1.8233\text{eV}$) の

活性層とのバンドギャップ差(460meV)とほぼ等しいことがわかる。

[0282] また、障壁層と量子井戸活性層とのバンドギャップ差についてみると、例えば障壁層を $\text{Ga}_{1-e}\text{In}_e\text{P}_{1-f}\text{As}_f$ ($e=0.6, f=1, E_g=2.02\text{eV}$)とすれば、組成波長680nmの活性層とのバンドギャップ差がおよそ200meVとなり、AlGaAs／AlGaAs系活性層による780nm面発光レーザダイオードの場合とほぼ同等となる。

[0283] これは、AlGaInP系スペーサ層を用いることで、組成波長が680nmよりも長波長であれば、Alフリー活性層(量子井戸活性層と障壁層)を用いた面発光レーザダイオードであっても、AlGaAs／AlGaAs系活性層を有する780nm面発光レーザダイオードの場合と同等以上のキャリア閉じ込めが可能となることを意味する。実際には、更に歪量子井戸活性層の効果も加わるため、同等以上の特性が得られる。

(7) 第七の構成例

本発明の第12の形態の第七の構成例による面発光レーザダイオードは、前記第一乃至第六の構成例の何れかの面発光レーザダイオードにおいて、被成長基板の面方位が、(111)A面方向に 5° から 20° の範囲内で傾斜した(100)面として構成されていることを特徴とする。

[0284] Al, In, Pを含んだ材料や、GaInPの結晶成長においては、基板面方位が結晶成長に影響し、特にAlGaInPやGaInP層の結晶成長では、基板面方位が(111)A面方向に 5° 乃至 20° の範囲内の角度(傾斜角)に傾斜した(100)GaAs基板を、前記基板41として使うのが好ましい。これは、基板の面方位が(100)に近い場合、自然超格子の形成によるバンドギャップの低下や、ヒロック(丘状欠陥)発生による表面形状の悪化や非発光再結合センタの発生が生じ、基板上に形成される半導体レーザなどのデバイス特性に悪影響を及ぼす恐れがあるためである。

[0285] 一方、基板面方位を(100)面から(111)A面方向に傾斜させると、傾斜角に応じて自然超格子の形成が抑えられる。そこで、バンドギャップは、傾斜角が 10° から 15° くらいまでは急激に変化し、その後は徐々に正規のバンドギャップ(混晶のバンドギャップ値)に近づき、また、ヒロックも徐々に発生しなくなっていく。

[0286] しかし、(111)A面方向の傾斜角が 20° を超えると、基板上への結晶成長が困難になる。このため、例えば赤色レーザ(630nmから680nm)の材料系で使われてい

るAlGaInP材料では、 5° 乃至 20° の範囲内の角度に(より多くの場合、 7° 乃至 15° の範囲内の角度に)傾斜させた基板が一般に使われている。これは、スペーサ層(クラッド層)であるAlGaInPはもとより、表2の例のように障壁層をGaInPとした場合も当てはまる。更には、障壁層や量子井戸活性層がGaInPAsの場合であっても悪影響が懸念されるので、これら材料の成長には面方位が(111)A面方向に 5° 乃至 20° の範囲内の角度に(より望ましくは 7° 乃至 15° の範囲内の角度に)傾斜した(100)GaAs基板を用いることが好ましい。

[0287] ちなみに、偏光方向制御については、特開2001-60739公報に、基板の面方位が(100)から(111)A面方向又は(111)B面方向に 15° ~ 40° 傾斜した基板を用い、光学利得異方性を利用し、さらに圧縮歪を有するInAlGaAs, InGaAsPよりなる多重量子井戸活性層を採用することで、傾斜方向の光学的利得を増大させる偏光制御技術が記載されている。また、特開2001-168461公報には、メサ形状を円形、楕円形、長円形として、長軸の方向を(100)から(111)A面方向又は(111)B面方向に設定する構成が記載されている。この場合、基板面方位は(100)から[110]方向に 2° オフ(-5° ~ $+5^{\circ}$ 含む)したものであり、A面、B面方向へ傾斜した基板ではない。

[0288] 本発明第12実施形態の第七の構成例における面発光レーザダイオードでは、偏光制御に、基板面方位を(111)A面方向に傾斜させることにより生じる光学利得異方性を利用する。しかし本構成例では、現在最有力視されている(311)B基板を用いた偏光制御技術を使うことができない。このように前記第七の構成例では、基板傾斜角が(311)B基板(25°)より小さい(5° から 20° の範囲内)ため、基板コストを抑えられ、またへき開が容易になるなどの利点があるものの、得られる光学利得異方性は小さくならざるを得ない。

[0289] そこで上記第七の構成例では、この低下分を量子井戸活性層に圧縮歪を与えることによる光学利得異方性の増大により補償する。

[0290] すなわち、前記第七の構成例による面発光レーザダイオードでは、光出射方向から見た活性層の外周形状を、(111)A面方向が長くなるように形状異方性を持たせる。また、面発光レーザダイオードの光出射方向から見た活性層の外周形状自体に

も異方性を持たせ、(111)A面方向に長い形状とすることによって、傾斜方向((111)A面方向)の光学的利得をさらに増大させ、偏向制御性を向上させることができる。

(第13の実施形態)

以下、本発明の第13の実施形態による面発光レーザ400を、図17乃至図19に基づいて説明する。

- [0291] 前記第13の実施形態は、前記第12の実施形態の第一の構成例をより具体化したものであり、図17は、前記面発光レーザダイオード400の構造例を示す原理的断面図、図18は、前記面発光レーザダイオード400の活性層周辺構造を抽出して拡大して示す断面図、図19は、前記面発光レーザダイオード400の一部を示す平面図である。
- [0292] 本発明の第13の形態における面発光レーザダイオード400は、面方位が、(111)A面方向に15° 傾斜したn-(100)GaAs基板411を使い、前記GaAs基盤411上には、 $n\text{-Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 層と $n\text{-Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 層を、媒質内における発振波長の1/4倍の厚さで交互に例えば35周期積層した周期構造412と、その上部に1/4波長の厚さで形成された $n\text{-(Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 低屈折率層(クラッド層)413とが、n-半導体分布ブラッグ反射鏡(下部反射鏡)414として形成されている。
- [0293] また、前記周期構造412中で繰り返し周期の1単位を構成する $n\text{-Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 層と $n\text{-Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 層との間には、Al組成を一方の値から他方の値に徐々に変化させた厚さ20nmの組成傾斜層(図示せず)が挿入されており、前記繰り返し周期の1単位の厚さは、前記組成傾斜層を含めて、媒質内における発振波長の1/4倍に設定されている。これにより、DBR中に駆動電流を流す場合、前記低屈折率層と高屈折率層の間のバンド不連続を滑らかにすることができ、電気抵抗の増大を抑制できる。
- [0294] 前記周期構造412上には、図18に示すように、前記基板411に格子整合する $(\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 下部スペーサ層415と、圧縮歪蓄積組成であってバンドギャップ波長が780nmの3層のGaInPAs量子井戸活性層416および前記基板411に格子整合する4層の $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 障壁層417を交互に積層した活性層418と、 $(\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 上部スペーサ層419とが、順次形成されている。

- [0295] さらに前記上部スペーサ層419上には、媒質中でのレーザ発振波長の1/4倍の厚さの $p-(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 低屈折率層(クラッド層を兼ねる)420と、 $p-\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=0.9$)低屈折率層と $p-\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=0.3$)高屈折率層とを交互に例えば24.5周期積層した周期構造421とより構成される p -半導体分布ブラッグ反射鏡(上部反射鏡)422が形成されている(図1では詳細は省略)。ここで、前記上部反射鏡422においても、高屈折率層と低屈折率層との間には、前記下部反射鏡414と同様な組成傾斜層が挿入されている。
- [0296] さらに前記上部反射鏡422の最上部には、電極との間でオーミックコンタクト形成する p -GaAsコンタクト層423が形成されている。
- [0297] かかる構成では、前記下部反射鏡414と上部反射鏡422との間は、発振波長の1波長分の厚さ(いわゆるラムダキャビティ)の共振器領域424が形成される。前記共振器領域424と、前記下部反射鏡414と、前記上部反射鏡422とにより、面発光レーザ400の共振器構造が構成される。
- [0298] 前記第13の実施形態による面発光レーザダイオード400では、 $p-(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 低屈折率層(クラッド層を兼ねる)420と、前記低屈折率層450上に形成され、上部反射鏡422を構成する $p-\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=0.3$)425との界面426(図15の界面3に相当)を電界強度分布の節の位置に一致させている。
- [0299] ちなみに、従来は、共振器領域の最上部にAlGaInPクラッド層(スペーサ層)が設けられている。このような構成では、共振器領域とAlGaAs系材料よりなる上部反射鏡との界面は、光吸収の影響が大きい腹の位置に形成されている。しかしながら、Al, In, Pを主成分として含む半導体層上にAl, Ga, Asを主成分として含む半導体層を結晶成長する場合、InのキャリアオーバーなどInの分離が生じやすく、しきい値の上昇を抑制するのは困難であった。
- [0300] 本発明の第13の実施形態によれば、界面426を電界強度分布の節に一致させているため、界面426における光吸収の影響は大幅に低減され、この部分でInの分離がある程度生じて、しきい値の増加を効果的に抑制することが可能になる。なお、前記 $p-(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 低屈折率層420と前記 $p-\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=0.3$)425との間に、In分離抑制層として上記低屈折率層よりAl組成が小さいかAlを含まな

い、薄い(Al)GaInPを設け、Inの分離を低減すると、しきい値の増大がさらに効果的に抑制される。

- [0301] なお、前記第13の実施形態では、レーザ構造に対称性を付与する観点から、下部反射鏡414の活性層18に最も近い低屈折率層も $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5})\text{P}$ 層としているが、Inの分離の問題の改善だけであればAlGaAs系材料を使っても構わない。
- [0302] 以下、前記第13の実施形態による面発光レーザダイオード400の製造工程を説明する。
- [0303] 本実施形態では、前記面発光レーザダイオード400を構成する半導体積層構造は、MOCVD法により形成される。その際、原料としてTMG(トリメチルガリウム)、TMA(トリメチルアルミニウム)、TMI(トリメチルインジウム)、 PH_3 (フォスフィン)、 AsH_3 (アルシン)を用い、n型のドーパントとしては H_2Se (セレン化水素)を、p型のドーパントとしてはDMZn又は CBr_4 を使う。またキャリアガスには H_2 を使う。
- [0304] MOCVD法では、組成傾斜層のような構成を、原料ガス供給量を制御することで容易に形成できる、DBRを含んだ面発光レーザダイオードの結晶成長方法として適している。また、MBE法のような高真空を必要とせず、原料ガスの供給流量や供給時間を制御すれば良いので、量産性にも優れている。
- [0305] 前記第13の実施形態では、p側DBR中で前記活性層418に近い低屈折率層の一部をAlAs層としている。
- [0306] このようにして形成された積層構造体をさらにメサエッチングすることにより、所定の大きさのメサ構造426が、少なくともp-AlAs被選択酸化層427の側壁面が露出するように形成し、前記露出されたAlAs層を、水蒸気中で前記側壁面から酸化し、 Al_xO_y 電流狭窄層428を形成する。
- [0307] 次に、前記メサ構造426の周囲をポリイミド膜432埋め込んで平坦化し、さらに前記コンタクト層423上の光出射窓429に対応する部分から前記ポリイミド膜432を除去する。さらに前記p型コンタクト層423上に、前期光出射部29を回避してp側電極430を形成し、さらに基板411の裏面にn側電極431を形成する。
- [0308] 本実施例形態の面発光レーザ400では、AlとAsを主成分とした被選択酸化層427の選択酸化により電流狭窄を行うため、しきい値電流が大きく低減される。

- [0309] 被選択酸化層427を選択酸化したAl酸化膜よりなる電流狭窄層428を用いた電流狭窄構造を使うことにより、電流狭窄層428を活性層418に近接して形成することが可能になり、注入電流の拡散を抑制でき、大気に触れない微小領域に効率良くキャリアを閉じ込めることができる。
- [0310] さらに、かかる電流狭窄構造では、酸化された部分428がAl酸化膜に変化することで屈折率が減少し、凸レンズの効果により、前記キャリアの閉じ込められた微小領域に効率良く光閉じ込めがなされ、極めて大きな効率を実現することが可能になる。また、これにより、しきい値電流が低減される。さらに、かかる電流狭窄構造は容易に形成でき、レーザダイオードの製造コストを大きく低減できる。
- [0311] なお、本実施形態では、面発光レーザダイオードの光出射方向から見たメサ形状を、図19に示すように、(111)A面方向に長い長楕円形状となるように異方性を持たせて形成する。かかる異方性形状は、前記楕円形状に限定されるものではなく、例えば長方形など他の形状でも良い。これにより、Al酸化膜428により画成された電流注入領域も(111)A面方向に長い形状となる。
- [0312] 前記第13の形態の面発光レーザダイオード400では、前記活性層418に最も近い反射鏡422の低屈折率層425やスペーサ層419にAlGaInP系の材料を用い、障壁層417や量子井戸活性層416にはGaInPAsを用いている。その際、レーザ構造を、面方位が(111)A面方向に15° 傾斜した(100)GaAs基板411上に形成しているので、自然超格子の形成によるバンドギャップの低下や、ヒロック(丘状欠陥)発生による表面形状の劣化、あるいはこのような表面形状の劣化に伴う非発光再結合センタの影響を低減することが可能になる。
- [0313] また上記構成では、キャリア閉じ込めのためのクラッド層(活性層418に最も近い反射鏡422中の低屈折率層)420として、ワイドギャップ材料である $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{In}_{0.5})_{0.5}\text{P}$ を用いていることに注意すべきである。このため、クラッド層420と活性層418との間には、前記クラッド層420をAlGaAsで形成した場合のバンドギャップ差466meV(Al組成0.6の場合)に比べて非常に大きい743meVのバンドギャップ差が得られる。同様に、障壁層417と活性層418との間においても、上記構成によればより大きなバンドギャップ差が確保され、このため、非常に良好なキャリア閉じ込めが実現される。

。また、上記構成では活性層418が圧縮歪を有しているので、ヘビーホールとライトホールのバンド分離による利得の増加が得られる。

[0314] 面発光レーザダイオード400では、これらの効果により、高い利得が得られ、低いしきい値で、大出力動作が実現される。

[0315] なお、 $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 低屈折率層420と活性層418との間のスペーサ層として $(\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層419を1層だけ形成したが、前記スペーサ層を複数の半導体層で形成しても良い。また、AlGaInP低屈折率層420やAlGaInPスペーサ層419は、微量に他の構成元素を含んでいても構わない。

[0316] また、前記活性層418と障壁層417は、Alを含んでいない材料から構成されており、Alフリー活性領域(量子井戸活性層、及びそれに隣接する層)としているので、前記面発光レーザダイオード400では酸素の取り込みが低減され、非発光再結合センタの形成を抑えることができ、長寿命レーザダイオードを実現することができる。

[0317] また、前記面発光レーザダイオード400では、偏光制御を、基板411の傾斜による光学利得異方性を利用して行っている。

[0318] 本実施形態の面発光レーザダイオード400では、現在、最有力視されている(311)B基板(25°)を用いた場合に比べて、基板傾斜角が小さく(15°)、このため光学利得異方性は小さくならざるを得ない。

[0319] このため、本実施形態ではかかる光学利得異方性の減少を、前記量子井戸活性層416に圧縮歪を与えることによる光学利得異方性の増大効果により、また前記量子井戸活性層416の外周形状を、(111)A面方向に長く延在する、光出射方向から見て異方性形状に形成し、前記基板傾斜方向((111)A面方向)への光学的利得を増大させることにより補償しており、(311)B基板利用と比べて劣らない偏光制御を実現している。

[0320] このように、本発明の第13の実施形態によれば、活性層418の利得が大きく、しきい値が小さく、優れた信頼性を有し、偏光方向制御が可能な780nm帯の高出力面発光レーザダイオードを実現することができる。その際、本実施形態の面発光レーザダイオード400は、Al, In, Pを主成分として含む半導体層420上にAl, Ga, Asを主成分として含む半導体層425を結晶成長する際にInの分離が生じて、これによるし

きい値上昇が生じにくい構造に設計されており、レーザダイオードの製造を容易にこなうことができる。

- [0321] なお、前記第13の実施形態における、活性層がAlを含まないことによる効果は、発振波長が短くなると減少するが、それでも、発振波長が680nmより長波長であれば、上記効果は持続する。
- [0322] 例えば、本実施形態の面発光レーザダイオードを、AlGaAs／AlGaAs系活性層を有する780nm面発光レーザダイオードの場合と比較すると、AlGaAs／AlGaAs系面発光レーザダイオードで使われる $\text{AlGa}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$)系スペーサ層の典型的な組成範囲において最もバンドギャップが大きい $\text{AlGa}_{1-x}\text{As}$ ($x=0.6$, $E_g=2.0226\text{eV}$)と組成波長が780nm ($E_g=1.5567\text{eV}$)の活性層とのバンドギャップ差は、本実施形態における面発光レーザダイオードで使われる $(\text{AlGa}_{1-a})\text{In}_b\text{P}$ ($0 < a \leq 1$, $0 \leq b \leq 1$)スペーサ層の典型的な組成範囲で最もバンドギャップが大きい $(\text{AlGa}_{1-a})\text{In}_b\text{P}$ ($a=0.7$, $b=0.5$, $E_g=2.289\text{eV}$)と組成波長680nm ($E_g=1.8233\text{eV}$)の活性層とのバンドギャップ差(460meV)とほぼ等しいことがわかる。
- [0323] また、障壁層と量子井戸活性層とのバンドギャップ差についてみると、例えば障壁層を $\text{GaIn}_{1-e}\text{PAs}_f$ ($e=0.6$, $f=1$, $E_g=2.02\text{eV}$)とすれば、組成波長680nmの活性層とのバンドギャップ差がおよそ200meVとなり、AlGaAs／AlGaAs系活性層による780nm面発光レーザダイオードの場合とほぼ同等となる。
- [0324] これは、AlGaInP系スペーサ層219を用いることで、組成波長が680nmよりも長波長であれば、Alフリー活性層(量子井戸活性層216と障壁層217)を用いた面発光レーザダイオードであっても、AlGaAs／AlGaAs系活性層を有する780nm面発光レーザダイオードの場合と同等以上のキャリア閉じ込めが可能となることを意味する。実際には、更に歪量子井戸活性層の効果も加わるため、同等以上の特性が得られる。
- [0325] また、前記障壁層417にAlを含ませた場合には、650nm帯など680nmより波長の短い赤色面発光レーザダイオード作製が可能となる。この場合、活性層がAlフリーである場合の効果は得られないが、前述のInの分離の問題を改善することが可能になる。

(第14の実施形態)

次に本発明の第14の形態を、図20に基づいて説明する。前記第14の実施形態は、前述の第三の構成例をより具体化した構成例に関するものである。

[0326] 図20は、本形態の面発光レーザダイオード500の活性層周辺構造を抽出して拡大して示す断面図である。

[0327] 図20を参照するに、本実施形態は、基本的には、図18の第13の実施形態の構成と同じであるが、前記障壁層417の代わりに、引っ張り歪を有する $\text{Ga}_{0.6}\text{In}_{0.4}\text{P}$ よりなる障壁層417aを用いた点で異なっている。

[0328] 面発光レーザダイオードにおいて量子井戸活性層の障壁層として使われるGaInPAs系材料では、同一格子定数で比較するとGaInPのバンドギャップが最も大きい。また、格子定数が小さい材料の方が大きなバンドギャップを確保できる。すなわち、そこで障壁層417aとしてGaInP系の格子定数が小さい材料を使うことにより、障壁層と量子井戸活性層との間に大きなバンド不連続を実現でき、面発光レーザダイオード500の利得を増大させることができる。これにより、面発光レーザダイオードは低いしきい値で、高出力動作が可能となる。例えば、 $\text{Ga}_{0.6}\text{In}_{0.4}\text{P}$ 引っ張り歪層417aのバンドギャップは2.02eVであり、 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 格子整合層417のバンドギャップは1.87eVであり、 $\text{Ga}_{0.6}\text{In}_{0.4}\text{P}$ 引っ張り歪層417aのバンドギャップの方が150meV大きいことに注意すべきである。

[0329] なお、障壁層として引っ張り歪組成層を使い、バンド不連続を増大させる効果は、量子井戸活性層が圧縮歪組成の時だけでなく、格子整合組成や引っ張り歪組成であっても得られることに注意すべきである。

(第15の実施形態)

本発明の第15の実施形態による面発光レーザダイオードは、先に図18で説明した前記第13の実施形態による面発光レーザダイオード400と同様な構成を有するが、p-半導体分布ブラッグ反射鏡における、 $\text{p-AlGa}_{1-x}\text{As}$ ($x=0.9$)と $\text{p-AlGa}_{1-x}\text{As}$ ($x=0.3$)よりなる多層構造部のドーパントにCを使い、 $\text{p-(Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 低屈折率層のドーパントにMgを使った点で相違している。

[0330] (Al)GaInP層のp型ドーパントとしてZn(亜鉛)が広く用いられているが、Znは拡散

係数が大きく、上部反射鏡の成長工程中にZnは活性層、あるいは活性層の近傍まで拡散してしまい、活性層の結晶性を劣化させ、発光効率の低下や、吸収損失の増大など、素子特性の劣化招来してしまう。この問題は、p側半導体層が、活性層の下部に形成されている場合、より一層深刻になる。

[0331] また、面発光レーザダイオードは、端面発光レーザダイオードに比べて膜厚が数倍厚く、成長時間も長く、このため、熱拡散の影響は決して見過ごすことのできない問題である。

[0332] 一方、Mgは拡散係数がZnより小さく、上記問題を改善できると考えられる。しかし、Al, Ga, Asを主成分として含む半導体層においては、Mgの拡散係数よりも、Cの拡散係数がより小さい。また、As系材料にMgを添加するとメモリー効果により制御性が悪くなることが知られている。

[0333] 従って、この本実施形態では、AlGaInP層にはMgを添加し、AlGaAs多層膜にはCを添加する構成としている。これにより、ドーパントの拡散やメモリー効果を低減でき、制御性良くドーピングでき、設計に近いドーピングプロファイルが得られるとともに活性層の結晶性低下が抑えられる。これにより、面発光レーザダイオードにおいて、低しきい値、高出力動作を容易に実現することが可能になる。

[0334] なお、上記のAlGaInP膜のドーパントをMgとし、AlGaAs膜のドーパントをCとすることによる効果は、AlGaInP膜を反射鏡の低屈折率層として用いた場合だけでなく、図21に示すようにAlGaInP膜が上下の反射鏡で挟まれた共振器領域中に設けられた場合であっても得られる。また、650nm帯等可視領域の面発光レーザダイオードのように、共振器領域を本実施形態と同様にAlGaInP系材料で形成し、反射鏡をAlGaAs系材料で形成している面発光レーザダイオードにおいても同様な効果が得られる。

[0335] なお図21の構成では、n型下部反射鏡の最上部低屈折率層を構成する $n\text{-Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 層511上に、 $n\text{-(Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ クラッド層512が形成され、前記n型クラッド層512上に、 $(\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 下部スペーサ層513を介して、圧縮歪みを蓄積したGaInPAs量子井戸活性層514とGa_{0.5}In_{0.5}P障壁層515を交互に積層した活性層が形成され、さらに前記活性層上には、 $(\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 上部

スペーサ層516を介して $p-(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ クラッド層517が形成され、前記クラッド層517上には、 p 型上部反射鏡518の最下部低屈折率層を構成する $p-\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 層518が形成されている。

- [0336] 前記 $n-\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 層511および $p-\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 層518は、媒質中でのレーザ発振波長の $1/4$ 倍の厚さを有し、また図示の例では、前記半導体層512～517は、前記上下の反射鏡511, 518の間で1波長分の共振器519を形成している。
(第16の実施形態)

本発明の第16の実施形態による面発光レーザは、図18の面発光レーザダイオード400と同様な構成を有するが、下部反射鏡413上部の $n-(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 低屈折率層と $p-(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 低屈折率層の積層を、 $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ と $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ との短周期超格子構造とした点で異なっている。

- [0337] 材料によって異なるが、半導体層の熱抵抗は、半導体材料を構成する元素の数が多いほど増大する。このため、4元材料であるAlGaInPは大きな熱抵抗を有する。そこで、このような活性層で発生した熱は容易に散逸せず、活性層中に蓄積され、活性層の温度上昇を招く。このため従来、わずかな注入電流で光出力が飽和してしまうという問題が生じていた。

- [0338] 面発光レーザダイオードでは、発振光の波長よりも充分薄い厚さの層を交互に積層した超格子構造を形成した場合、光学的には、これらの層が一様に混合した平均組成の混晶が形成されている場合と同様であるとみなすことができる。ただし、屈折率については、超格子構造にすることで、わずかに高屈折率化するとの報告もある。したがって、このような超格子構造により構成された半導体層を用いて反射鏡などを構成することができる。

- [0339] ここで、4元材料であるAlGaInPよりも3元材料であるAlInPやGaInPの熱抵抗は小さいことから、しかも、AlGaInPと同様に、AlInPやGaInPもGaAs基板に格子整合させることから、本構成例では面発光レーザダイオード中に、従来一様組成AlGaInPであった半導体層の代わりに、その平均組成より熱抵抗の小さい少なくとも2つの材料を選択して超格子構造を形成することで、熱抵抗を低減する。これにより、活性層で発生した熱を効率的に放熱することができ、電流注入による活性層温度上昇を

低減でき、従来よりも高いレベルに電流注入が可能となり、出力が上昇し、結果として高出力動作可能な面発光レーザダイオードを得ることができる。

[0340] なお、AlGaInPをAlInPとGaInPとによる短周期超格子構造で形成した場合の熱抵抗低減効果は、必ずしもAlGaInPを反射鏡の低屈折率層として用いた場合でなくとも、先の図21に示すような、これが上下の反射鏡511, 518で挟まれた共振器領域519中に設けられた場合であっても得られることに注意すべきである。また、650nm帯等可視領域の面発光レーザダイオードのように、共振器領域をAlGaInP系材料で形成している面発光レーザダイオードにおいても同様な効果が得られる。

[0341] 活性層からの放熱は基板側が主なので、上記構成は、少なくとも基板側のAlGaInP層に適用することが好ましい。

(第17の実施形態)

本発明の第17の実施形態による面発光レーザダイオード600を、図22を参照しながら説明する。ただし図22中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

[0342] 本実施形態の面発光レーザダイオード600は、前記第14の実施形態の面発光レーザダイオード500と類似した構成を有するが、以下の二点で異なっている。

[0343] 第一点は、下部反射鏡414が、基板側411から順番に、 n -AlAs低屈折率層と n - $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 高屈折率層とを31周期積層した第1下部反射鏡412Aと、 n - $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 低屈折率層と n - $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 高屈折率層とを9周期積層した第2下部反射鏡412Bの積層により形成され、さらにその上に、前記 n - $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 低屈折率層(クラッド層)413を形成した点である。

[0344] かかる下部反射鏡414は、低屈折率層として、熱抵抗の小さいAlAsを含んでいるため、活性層416で発生する熱の放熱性が改善し、駆動時の温度上昇が抑制され、温度特性が良好でかつ高出力の面発光レーザダイオードが得られる。

[0345] なお、もしもメサ構造形成時のエッチング面が前記第1下部反射鏡412AのAlAsまで達すると、後工程のAlAs被選択酸化層の酸化工程時に、メサ側壁に露出しているAlAs層の端面からも同時に酸化が進み、活性層416が絶縁され、あるいはレーザダイオードの電気抵抗が増大する事態となってしまう。これは、AlGaAsの酸化速度

ではAl組成依存性が極めて大きく、Al組成が大きいほど酸化速度が大きく、AlAsで酸化速度が最大となるためである。

[0346] このため、本実施例形態では、前記下部反射鏡412A上に、酸化速度が小さいAlGaAsを用いた第2下部反射鏡412Bを設けている。なお、このような第2下部反射鏡412Bは、第1下部反射鏡412A中の低屈折率層の酸化速度が、被選択酸化層よりも速い材料・厚さの場合に設ける必要が出てくる。例えば被選択酸化層427がAlAsにわずかにGaを添加した材料である場合など、第1下部反射鏡412Aの低屈折率層にGaが含まれていても、その酸化速度が被選択酸化層427よりも速い場合がある。この場合でも前記第2下部反射鏡412Bが必要となる。前記第1下部反射鏡412A中の低屈折率層が前記第2下部反射鏡412B中の低屈折率層よりも熱抵抗の小さい組成(材料)であれば、効率的な放熱が実現される。

[0347] メサ形成エッチングでは、ロットごとのばらつきが生じるが、本実施形態では、メサエッチングがAl酸化膜となる被選択酸化層427と第1下部反射鏡のAlAs412Aの間で止まるように行えば良い。

[0348] このメサエッチングは、例えばCl₂ガスを、被処理基板を保持するドライエッチング装置の処理容器に導入し、反応性イオンビームエッチング法(RIBE)法で行うことができる。このメサエッチングの際、先の実施形態でも説明したようにプラズマ発光分光器でInの発光(451nm)とAlの発光(396nm)の比をとり、その時間変化により、エッチングの進行をモニタすることができる。

[0349] エッチング開始から数分経過すると、Inの発光(451nm)が検出され、やがて消失する。そこで、前記Inの発光が消失した時点でエッチングを終了することにより、前記第2下部反射鏡412B中でエッチングを停止させることができ、メサエッチングを容易に再現性良く制御することが可能になる。

[0350] また上記第二点は、n側及びp側のAl_{0.3}Ga_{0.7}As高屈折率層と(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P低屈折率層との界面に、例えば20nmの厚さの(Al_{0.1}Ga_{0.9})_{0.5}In_{0.5}P中間層601を設けたことである。

[0351] 本実施形態では、このようにAl組成の小さい中間層601を挿入することにより、特に、p-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P低屈折率層上にp-Al_{0.3}Ga_{0.7}As高屈折率層を積

層する場合、平坦で結晶性良く成長できる成長条件の範囲が拡大され、高屈折率層の形成を容易に行うことができる。また、AlGaAs系材料とAlGaInP系材料のヘテロ接合では、AlGaInP系材料のAl組成が大きい場合、価電子帯のバンド不連続が大きくなってしまいが、Al組成の小さい中間層を挿入することにより、このような価電子帯のバンド不連続を減少でき、電気抵抗低減することが可能になる。なお、中間層601には、Asが含まれていても良い。

さらに、本発明の上記第12～17の実施形態による面発光レーザダイオードを使って、先に図10～図14で説明した面発光レーザダイオードアレイ220、光送信モジュール240、光通信システム260、面発光レーザアレイチップ281をつかったレーザブリスタ280などを構成することが可能である。

[0352] さらに本発明は、上記の実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載した要旨内において様々な変形・変更が可能である。

請求の範囲

- [1] 半導体基板と、
レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸層および障壁層を含む活性層と、前記活性層の近傍に設けられ、少なくとも1種類の材料よりなるスペーサ層とよりなり、前記半導体基板上に形成された共振器領域と、
前記半導体基板上において前記共振器領域の上部および下部に設けられた上部反射鏡および下部反射鏡と、
よりなる面発光レーザダイオードであって、
前記共振器領域、前記上部反射鏡および前記下部反射鏡は、前記半導体基板上においてメサ構造を形成し、
前記上部反射鏡および下部反射鏡は、屈折率が周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡を構成し、
前記半導体分布ブラッグ反射鏡の少なくとも一部は、 $\text{AlGa}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$) よりなる屈折率が小なる層と、 $\text{AlGa}_{1-y}\text{As}$ ($0 \leq y < x \leq 1$) よりなる屈折率が大なる層とから構成され、
前記下部反射鏡は、低屈折率層がAlAsよりなる第1下部反射鏡と、第1下部反射鏡の上に形成され、低屈折率層がAlGaAsよりなる第2下部反射鏡とから構成され、
前記共振器領域を構成するいずれかの層は、Inを含んでいる面発光レーザダイオード。
- [2] 請求項1記載の面発光レーザダイオードにおいて、少なくとも下部スペーサ層と上部スペーサ層は、Inを含んでいる面発光レーザダイオード。
- [3] 請求項1記載の面発光レーザダイオードにおいて、前記第2下部反射鏡では、前記低屈折率層と前記高屈折率層が、10ペア以下で繰り返される面発光レーザダイオード。
- [4] 請求項1記載の面発光レーザダイオードにおいて、前記スペーサ層の一部は $(\text{AlGa}_{1-a}\text{In}_b\text{P})$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$) よりなり、前記量子井戸活性層は $\text{GaIn}_{1-c}\text{PAs}_d$ ($0 \leq c \leq 1, 0 \leq d \leq 1$) よりなり、前記障壁層は $\text{GaIn}_{1-e}\text{PAs}_f$ ($0 \leq e \leq 1, 0 \leq f \leq 1$) よりなる面発光レーザダイオード。

- [5] 請求項4記載の面発光レーザダイオードにおいて、前記量子井戸活性層は圧縮歪を有していることを特徴とする面発光レーザダイオード。
- [6] 請求項5記載の面発光レーザダイオードにおいて、前記障壁層は引っ張り歪を有していることを特徴とする面発光レーザダイオード。
- [7] 請求項4記載の面発光レーザダイオードにおいて、前記半導体基板は、面方位が(111)A面方向に 5° 乃至 20° の範囲内の角度に傾斜した(100)GaAs基板であることを特徴とする面発光レーザダイオード。
- [8] 請求項4記載の面発光レーザダイオードにおいて、前記面発光レーザダイオードは、発振波長がおよそ680nmよりも長波長であることを特徴とする面発光レーザダイオード。
- [9] 請求項5記載の面発光レーザダイオードにおいて、前記半導体基板は、面方位が(111)A面方向に 5° 乃至 20° の範囲内の角度に傾斜した(100)GaAs基板であることを特徴とする面発光レーザダイオード。
- [10] 請求項5記載の面発光レーザダイオードにおいて、前記面発光レーザダイオードは、発振波長がおよそ680nmよりも長波長であることを特徴とする面発光レーザダイオード。
- [11] (111)A面方向に 5° 乃至 20° の範囲内の角度で傾斜した面方位を有する(100)GaAs基板と、
レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性層と障壁層とよりなる活性層と、
前記活性層の近傍に設けられ、少なくとも1種類の材料よりなるスペーサ層とを含み、
前記GaAs基板上に形成される共振器領域と、
前記共振器領域の上部および下部に設けられた上部反射鏡および下部反射鏡とよりなり、
前記共振器領域と、前記上部および下部反射鏡とは、前記GaAs基板上においてメサ構造を形成し、
前記上部反射鏡および下部反射鏡は、屈折率が周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡よりなり、
前記半導体分布ブラッグ反射鏡の少なくとも一部は、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$) よりな

る屈折率が小なる層と、 $\text{Al Ga}_y \text{As}_{1-y}$ ($0 \leq y < x \leq 1$) よりなる屈折率が大なる層とより構成され、

前記スペーサ層の一部は $(\text{Al Ga}_{1-a}) \text{In}_b \text{P}_{1-b}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$) よりなり、

前記量子井戸活性層は $\text{Ga In}_c \text{P}_d \text{As}_{1-d}$ ($0 \leq c \leq 1, 0 \leq d \leq 1$) よりなり、

前記障壁層は $\text{Ga In}_e \text{P}_f \text{As}_{1-f}$ ($0 \leq e \leq 1, 0 \leq f \leq 1$) よりなり、

前記量子井戸活性層は圧縮歪を有しており、

前記活性層は、光出射方向から見て(111)A面方向に長い形状異方性を有する面発光レーザダイオード。

[12] 請求項11記載の面発光レーザダイオードにおいて、障壁層は引っ張り歪を有していることを特徴とする面発光レーザダイオード。

[13] 請求項11記載の面発光レーザダイオードにおいて、前記面発光レーザダイオードは、発振波長がおよそ680nmよりも長波長であることを特徴とする面発光レーザダイオード。

[14] 半導体基板上に、レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性層と障壁層とを含む活性層、および前記活性層の近傍に設けられ少なくとも1種類の材料よりなるスペーサ層とよりなる共振器領域と、前記共振器領域の上部および下部に設けられた上部反射鏡および下部反射鏡とを備えた面発光レーザダイオードの製造方法であって、

前記半導体基板上に、前記下部反射鏡、前記共振器領域および前記上部反射鏡を含む積層構造を形成する工程と、

前記積層膜をドライエッチングによりパターニングしてメサ構造を形成する工程を含み、

前記積層構造を形成する工程は、前記共振器領域を構成するいずれかの層にInを含ませる工程を含み、

前記ドライエッチングによりメサ構造を形成する工程は、Inの発光をモニタすることにより前記メサ構造の高さを制御する工程を含む、面発光レーザダイオードの製造方法。

[15] GaAs基板と、

前記GaAs基板上に形成され、レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性層と障壁層とを有する活性層を含んだ共振器領域と、

前記GaAs基板上、前記共振器領域の上部及び下部にそれぞれ設けられた上部反射鏡及び下部反射鏡と、を含み、

前記上部反射鏡および／または下部反射鏡は半導体分布ブラッグ反射鏡を含み、
前記半導体分布ブラッグ反射鏡の少なくとも一部は、Al, GaおよびAsを主成分として含む半導体層よりなり、

前記活性層とAl, Ga, Asを主成分として含む半導体層との間に、前記Al, Ga, Asを主成分として含む半導体層に接して、Al, In, Pを主成分として含む半導体層を設け、

前記Al, Ga, Asを主成分として含む半導体層と前記Al, In, Pを主成分として含む半導体層との界面が、電界強度分布の節の位置に一致して形成された面発光レーザダイオード。

[16] 請求項15記載の面発光レーザダイオードにおいて、前記Al, In, Pを主成分として含む前記半導体層は、 $(\text{Al}_a \text{Ga}_{1-a}) \text{In}_b \text{P}_{1-b}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$)である面発光レーザダイオード。

[17] 請求項15記載の面発光レーザダイオードにおいて、
前記活性層と前記上部反射鏡および／または下部反射鏡との間には、スペーサ層が設けられており、前記スペーサ層の一部は、AlGaInP層よりなり、

前記量子井戸活性層は、 $\text{Ga}_c \text{In}_{1-c} \text{P}_d \text{As}_{1-d}$ ($0 \leq c \leq 1, 0 \leq d \leq 1$)よりなり、

前記障壁層は、 $\text{Ga}_e \text{In}_{1-e} \text{P}_f \text{As}_{1-f}$ ($0 \leq e \leq 1, 0 \leq f \leq 1$)よりなることを特徴とする面発光レーザダイオード。

[18] 請求項17記載の面発光レーザダイオードにおいて、前記量子井戸活性層は、圧縮歪を有することを特徴とする面発光レーザダイオード。

[19] 請求項18記載の面発光レーザダイオードにおいて、前記障壁層は、引っ張り歪を有することを特徴とする面発光レーザダイオード。

[20] GaAs基板と、

前記GaAs基板上に形成され、レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性

層と障壁層とを有する活性層を含んだ共振器領域と、

前記GaAs基板上、前記共振器領域のそれぞれ上部及び下部に設けられた上部反射鏡及び下部反射鏡と、を含み、

前記上部反射鏡および／または下部反射鏡は半導体分布ブラッグ反射鏡を含み、
前記半導体分布ブラッグ反射鏡の少なくとも一部は、Al, Ga, Asを主成分として含む半導体層よりなり、

前記活性層と前記Al, Ga, Asを主成分として含む半導体層との間に、前記Al, Ga, Asを主成分として含む半導体層に接して、Al, In, Pを主成分として含む $(\text{Al Ga}_a)_\text{In}_b\text{P}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$)層を設け、

前記 $(\text{Al Ga}_a)_\text{In}_{1-a}\text{P}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$)層には、p型ドーパントとしてMg(マグネシウム)が添加され、

前記Al, Ga, Asを主成分として含む半導体層には、p型ドーパントとしてC(炭素)が添加されている面発光レーザダイオード。

[21] 請求項20記載の面発光レーザダイオードにおいて、

前記活性層と前記上部反射鏡および／または下部反射鏡との間には、スペーサ層が設けられており、前記スペーサ層の一部は、AlGaInP層よりなり、

前記量子井戸活性層は、 $\text{Ga In}_c\text{P As}_d$ ($0 \leq c \leq 1, 0 \leq d \leq 1$)よりなり、

前記障壁層は、 $\text{Ga In}_e\text{P As}_f$ ($0 \leq e \leq 1, 0 \leq f \leq 1$)よりなることを特徴とする面発光レーザダイオード。

[22] 請求項21記載の面発光レーザダイオードにおいて、前記量子井戸活性層は、圧縮歪を有することを特徴とする面発光レーザダイオード。

[23] 請求項22記載の面発光レーザダイオードにおいて、前記障壁層は、引っ張り歪を有することを特徴とする面発光レーザダイオード。

[24] GaAs基板と、

前記GaAs基板上に形成され、レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性層と障壁層とを有する活性層を含んだ共振器領域と、

前記GaAs基板上、前記共振器領域の上部及び下部に設けられた上部反射鏡及び下部反射鏡と、を含み、

前記上部反射鏡および／または下部反射鏡は半導体分布ブラッグ反射鏡を含み、
前記半導体分布ブラッグ反射鏡の少なくとも一部は、Al, Ga, Asを主成分として含む半導体層よりなり、

前記活性層とAl, Ga, Asを主成分として含む半導体層との間に、Al, Ga, Asを主成分として含む半導体層に接して、Al, In, Pを主成分として含む $(\text{Al}_a \text{Ga}_{1-a}) \text{In}_b \text{P}_{1-b}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$)層を設け、

$(\text{Al}_a \text{Ga}_{1-a}) \text{In}_b \text{P}_{1-b}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$)層は、AlInPとGaInPとよりなる短周期超格子構造により構成された半導体層であることを特徴とする面発光レーザダイオード。

[25] 請求項24記載の面発光レーザダイオードにおいて、

前記活性層と前記上部反射鏡および／または下部反射鏡との間には、スペーサ層が設けられており、前記スペーサ層の一部は、AlGaInP層よりなり、

前記量子井戸活性層は、 $\text{Ga}_c \text{In}_{1-c} \text{P}_d \text{As}_{1-d}$ ($0 \leq c \leq 1, 0 \leq d \leq 1$)よりなり、

前記障壁層は、 $\text{Ga}_e \text{In}_{1-e} \text{P}_f \text{As}_{1-f}$ ($0 \leq e \leq 1, 0 \leq f \leq 1$)よりなることを特徴とする面発光レーザダイオード。

[26] 請求項25記載の面発光レーザダイオードにおいて、前記量子井戸活性層は、圧縮歪を有することを特徴とする面発光レーザダイオード。

[27] 請求項26記載の面発光レーザダイオードにおいて、前記障壁層は、引っ張り歪を有することを特徴とする面発光レーザダイオード。

[28] GaAs基板と、

前記GaAs基板上に形成され、レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性層と障壁層とを有する活性層を含む共振器領域と、

前記GaAs基板上、前記共振器領域のそれぞれ上部及び下部に設けられた上部反射鏡及び下部反射鏡と、を含み、

前記上部反射鏡および／または下部反射鏡は半導体分布ブラッグ反射鏡を含み、
前記半導体分布ブラッグ反射鏡の少なくとも一部は、 $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{As}$ ($0 < x \leq 1$)による低屈折率層と $\text{Al}_y \text{Ga}_{1-y} \text{As}$ ($0 \leq y < x \leq 1$)による高屈折率層とよりなり、

前記上部反射鏡および／または下部反射鏡を構成する前記低屈折率層のうちで少なくとも前記活性層に最も近い低屈折率層は、 $(\text{Al}_a \text{Ga}_{1-a}) \text{In}_b \text{P}_{1-b}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b$

≦1)よりなり、

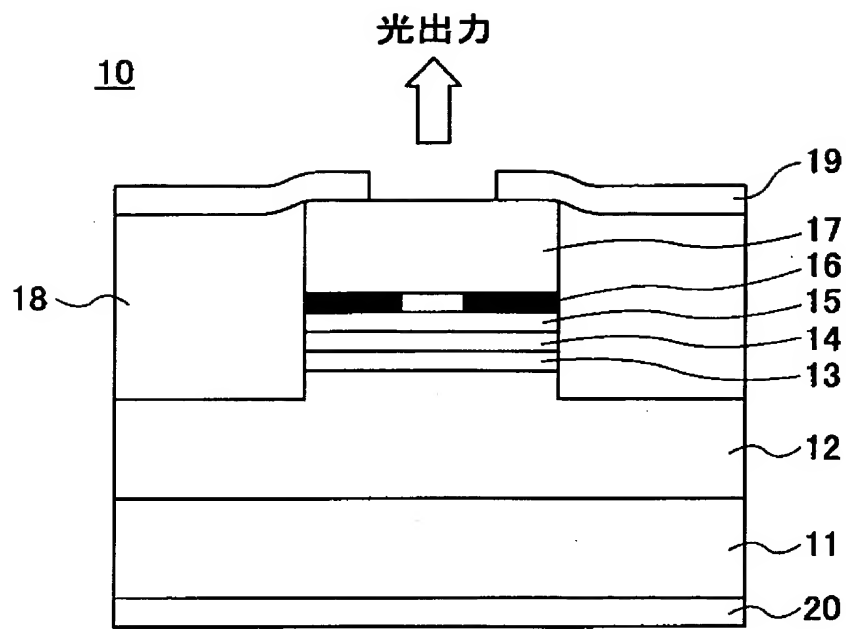
前記共振器領域と前記上部反射鏡および／または下部反射鏡の活性層に最も近い低屈折率層との界面に、電界強度分布の腹が一致する面発光レーザダイオード。

- [29] 請求項28記載の面発光レーザダイオードにおいて、前記下部反射鏡は、前記基板から順に、前記低屈折率層としてAlAs層を含む第1下部反射鏡と、前記低屈折率層として $\text{Al}_{x1}\text{Ga}_{1-x1}\text{As}$ ($0 < x1 < 1$)を含む第2下部反射鏡と、少なくとも1層よりなる $(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})\text{In}_b\text{P}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$)低屈折率層とが設けられている面発光レーザダイオード。
- [30] 請求項28記載の面発光レーザダイオードにおいて、前記高屈折率層は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 \leq y < x \leq 1$)よりなり、前記低屈折率層は $(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})\text{In}_b\text{P}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$)よりなり、前記高屈折率層と前記低屈折率層の界面には、前記 $(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})\text{In}_b\text{P}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$)低屈折率層よりもAl組成の小さい $(\text{Al}_{a1}\text{Ga}_{1-a1})\text{In}_{b1}\text{P}$ ($0 \leq a1 < a \leq 1, 0 \leq b1 \leq 1$)による中間層が設けられている面発光レーザダイオード。
- [31] 請求項28記載の面発光型半導体レーザにおいて、前記活性層と前記上部反射鏡および／または下部反射鏡との間には、スペーサ層が設けられており、該スペーサ層の一部は、前記AlGaInP低屈折率層よりもバンドギャップが小さい $(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})\text{In}_b\text{P}$ ($0 \leq a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$)よりなり、
前記量子井戸活性層は、 $\text{GaIn}_c\text{PAs}_{1-d}$ ($0 \leq c \leq 1, 0 \leq d \leq 1$)よりなり、
前記障壁層は、 $\text{GaIn}_e\text{PAs}_{1-f}$ ($0 \leq e \leq 1, 0 \leq f \leq 1$)よりなること、を特徴とする面発光型半導体レーザ。
- [32] 請求項31記載の面発光型半導体レーザにおいて、前記量子井戸活性層は、圧縮歪を有することを特徴とする面発光型半導体レーザ。
- [33] 請求項32記載の面発光型半導体レーザにおいて、前記障壁層は、引っ張り歪を有することを特徴とする面発光型半導体レーザ。
- [34] 請求項28記載の面発光型半導体レーザにおいて、前記半導体分布ブラッグ反射鏡の $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$)による低屈折率層と $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 \leq y < x \leq 1$)による高屈折率層とには、p型ドーパントとしてC(炭素)が添加され、前記 $(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})\text{In}_b\text{P}$ ($0 < a \leq 1, 0 \leq b \leq 1$)よりなる低屈折率層には、p型ドーパントとしてMg(マグネシウム)が

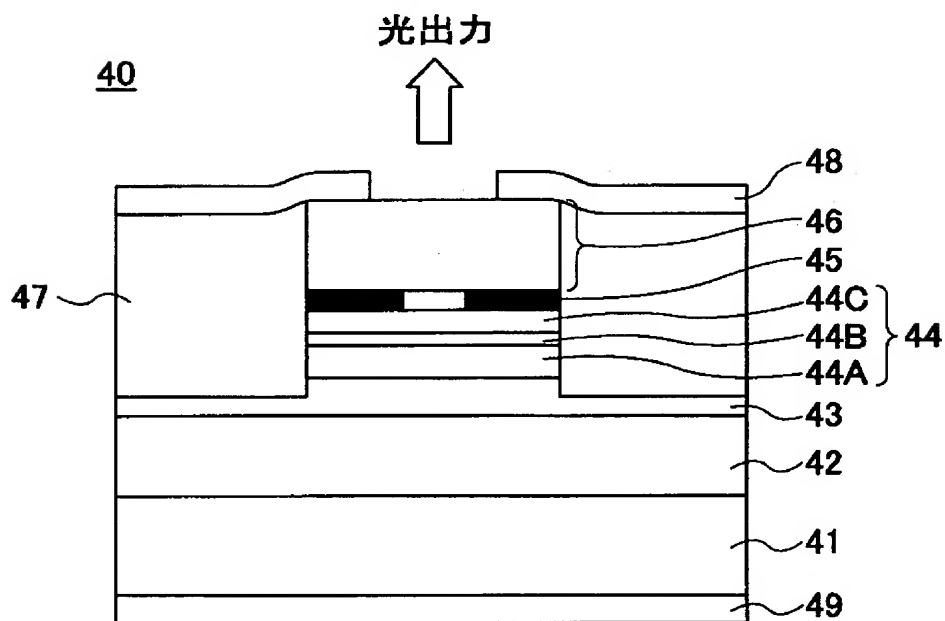
添加されていることを特徴とする面発光型半導体レーザ。

- [35] 請求項28記載の面発光型半導体レーザにおいて、 $(\text{Al Ga}_{1-a})_{\text{In}_b\text{P}_{1-b}}$ ($0 < a \leq 1$, $0 \leq b \leq 1$) よりなる低屈折率層は、AlInPとGaInPとよりなる短周期超格子構造により構成された半導体層であることを特徴とする面発光型半導体レーザ。

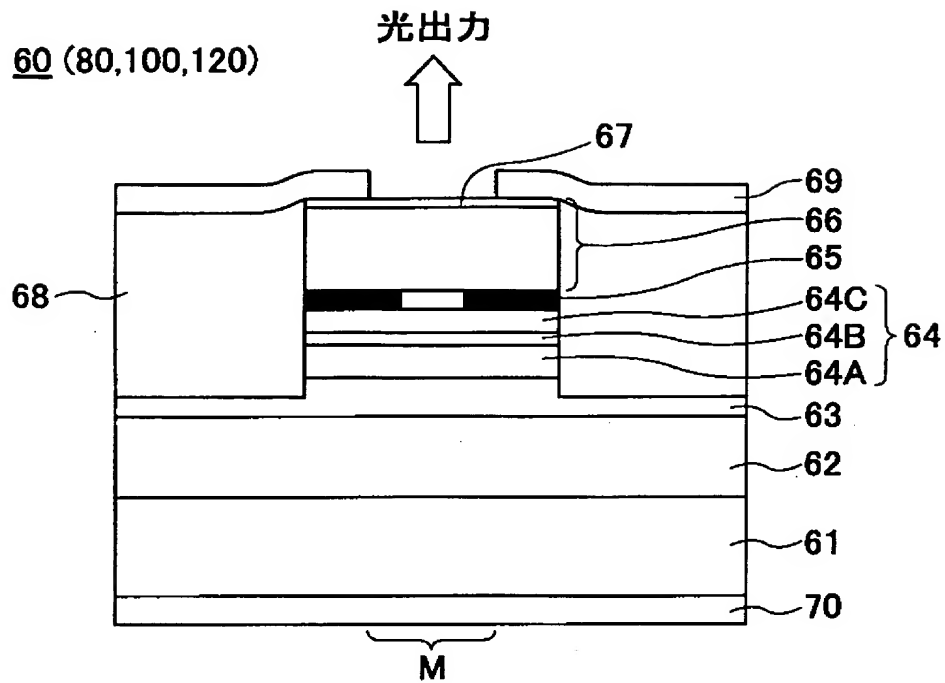
[図1]



[図2]

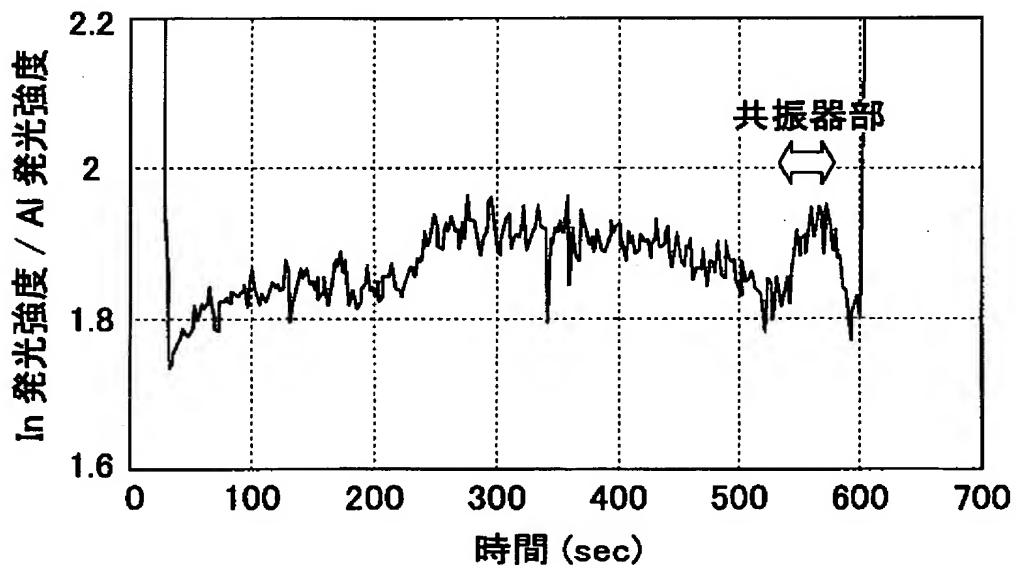


[図3]

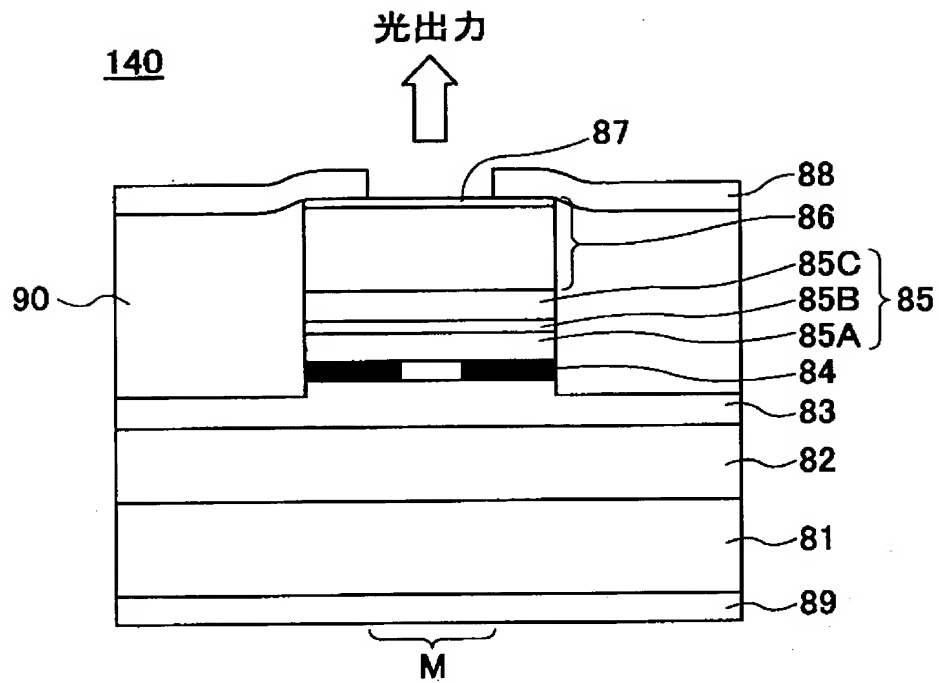


[図4]

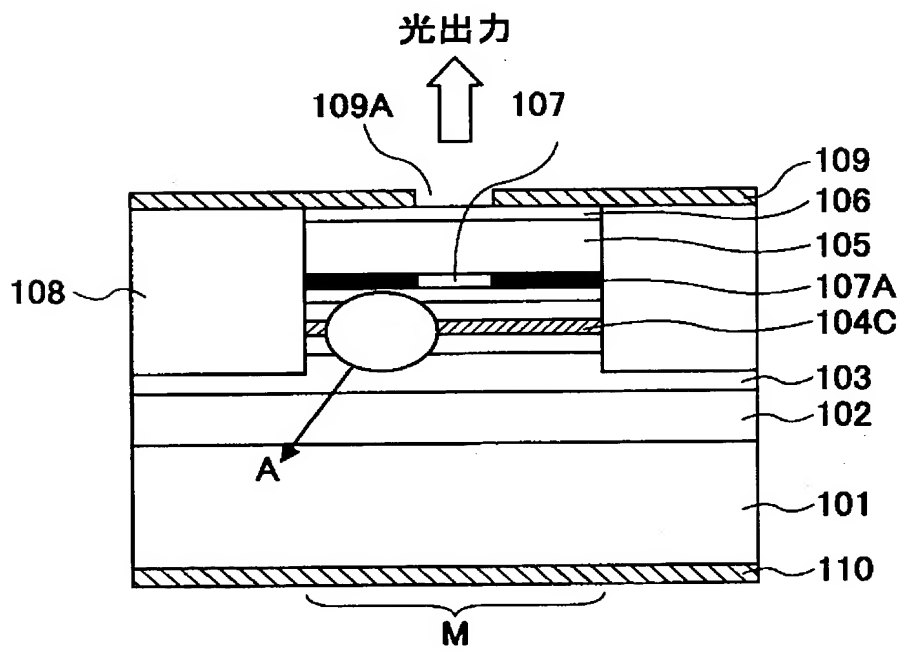
実施例1における In (451nm) / Al (396nm) 発光強度比の時間変化



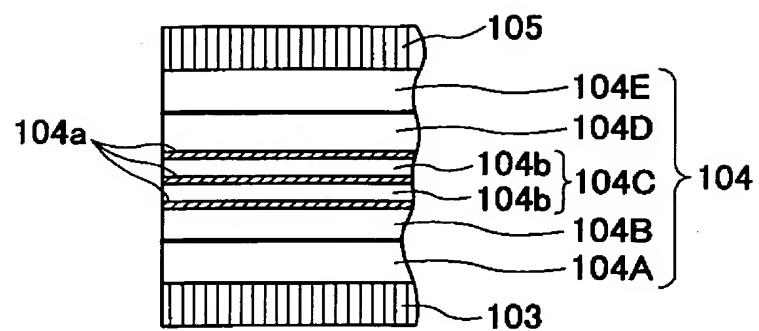
[図5]



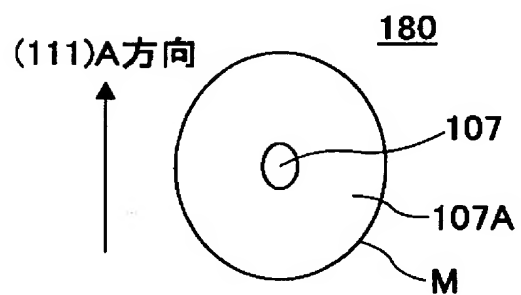
[図6]



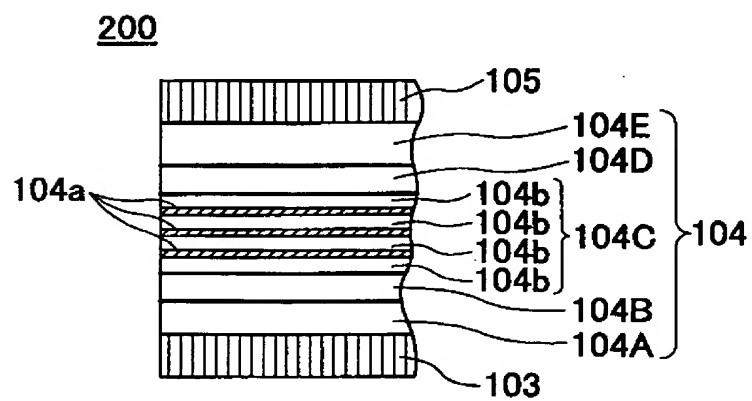
[図7]



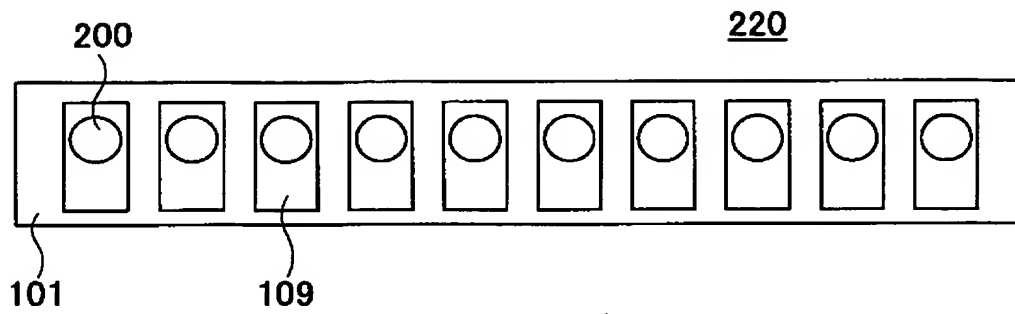
[図8]



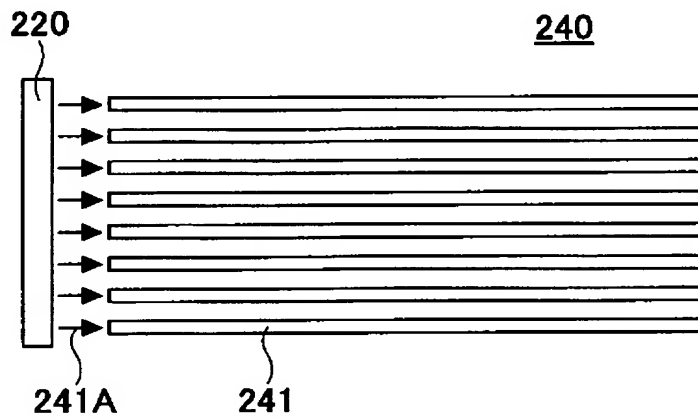
[図9]



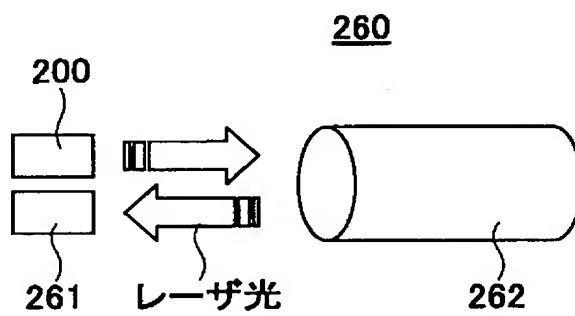
[図10]



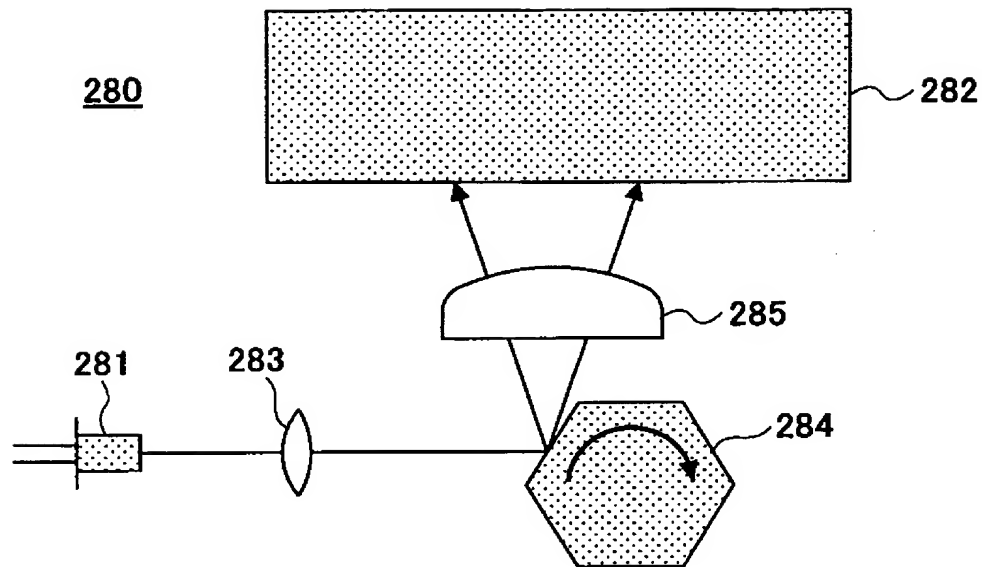
[図11]



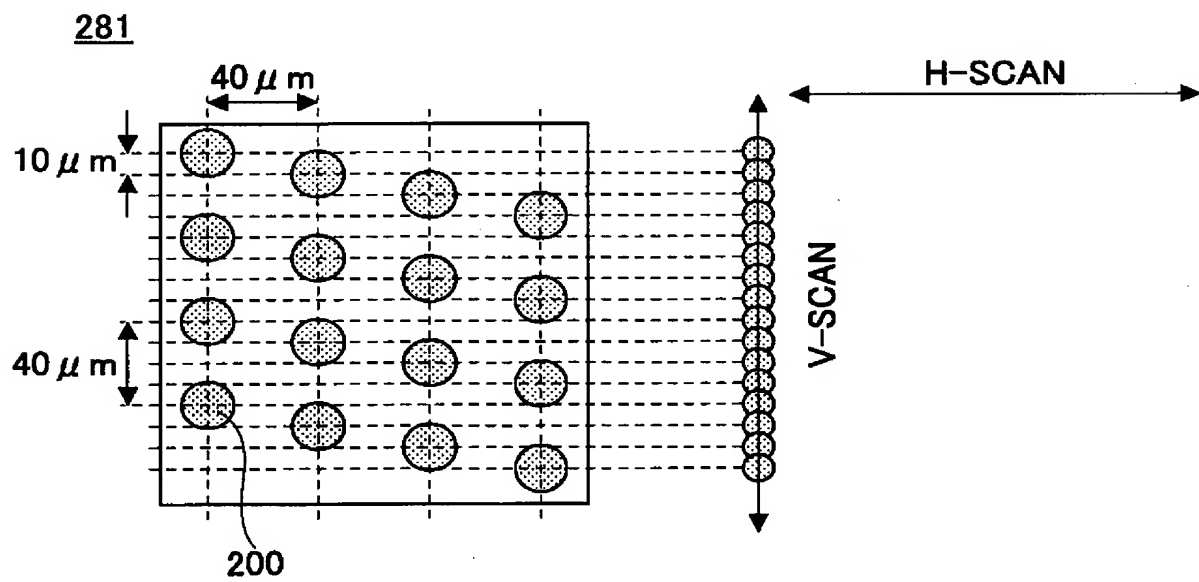
[図12]



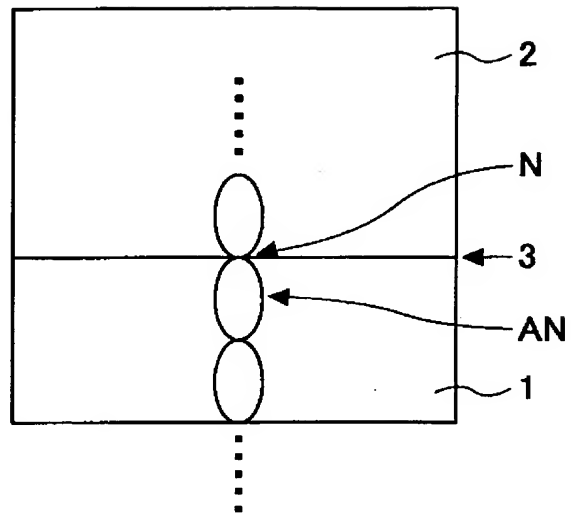
[図13]



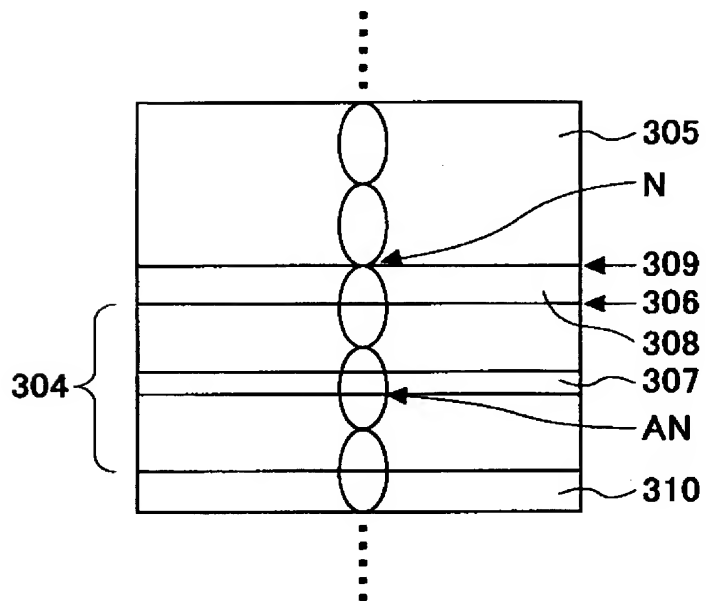
[図14]



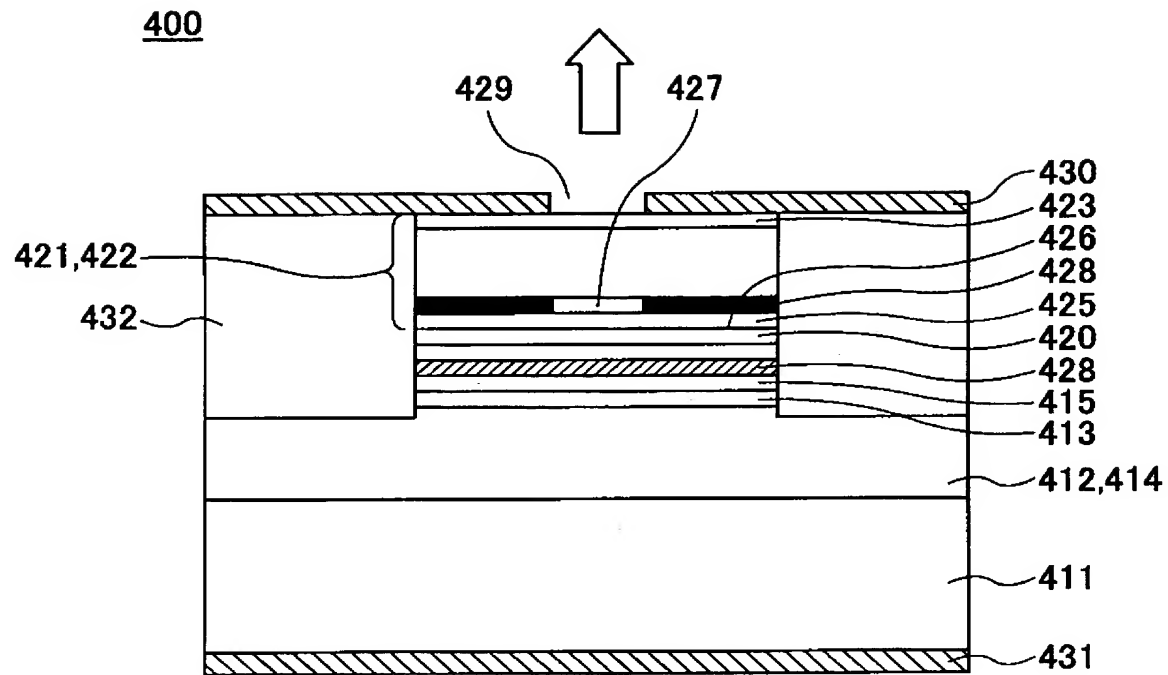
[図15]



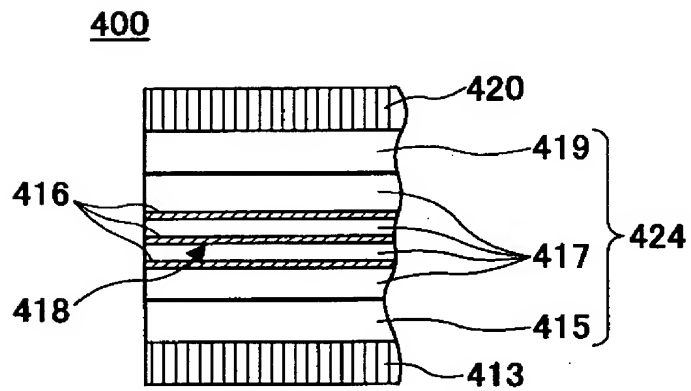
[図16]



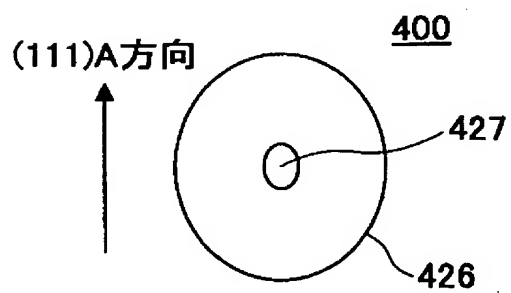
[図17]



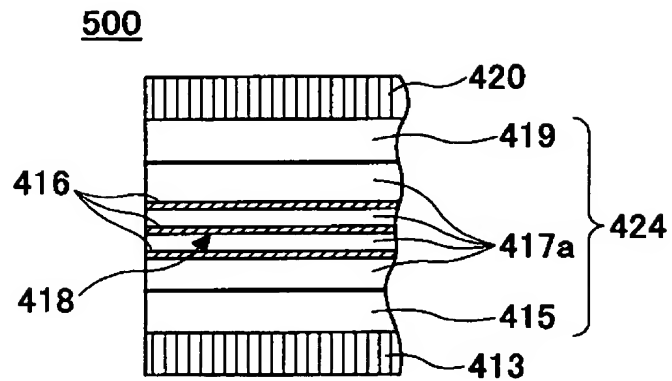
[図18]



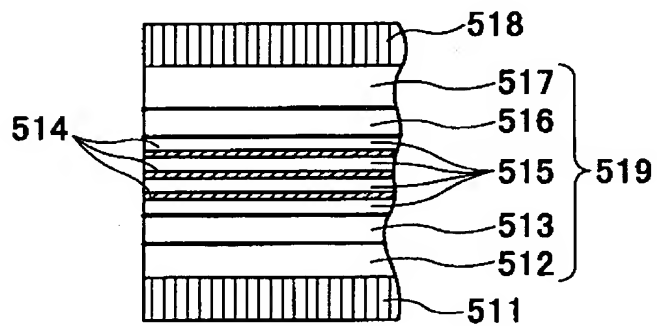
[図19]



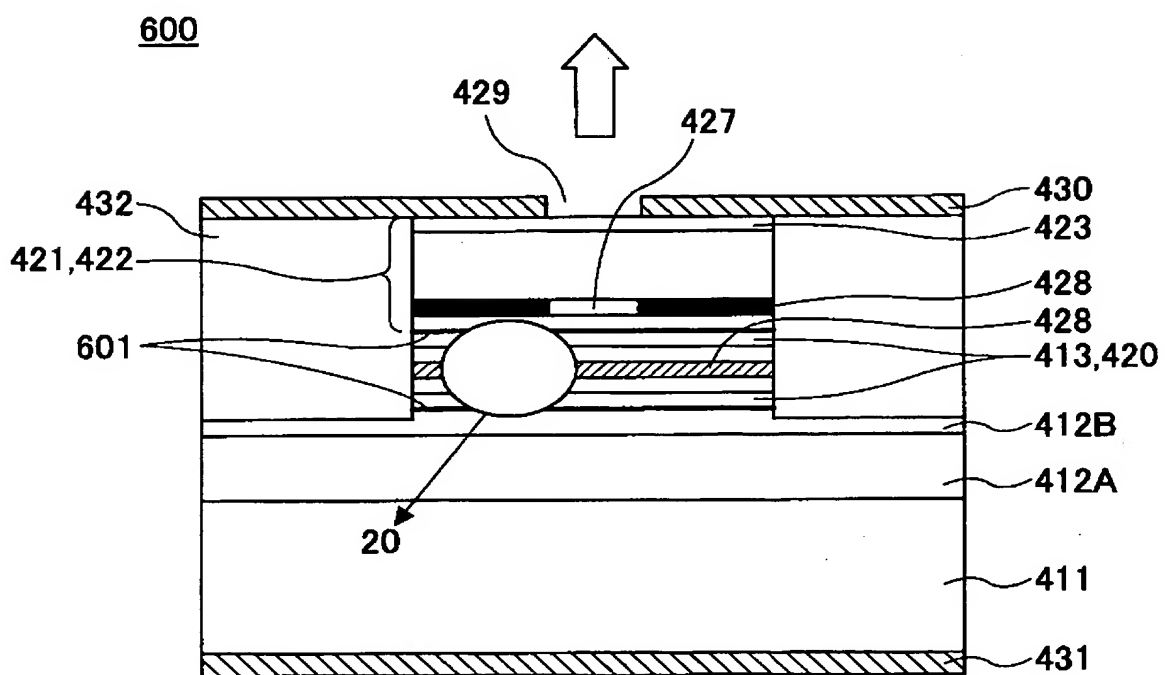
[図20]



[図21]



[図22]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/010520

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ H01S5/183

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H01S5/00-5/50

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
JSTPlus (JOIS)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2001-60739 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 06 March, 2001 (06.03.01), Par. Nos. [0018] to [0022], [0025]; Fig. 1 (Family: none)	1-10
Y	JP 11-312847 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 09 November, 1999 (09.11.99), Par. Nos. [0039] to [0040]; Fig. 2 & US 2003/0156613 A1 & US 5649553 B1 & EP 939471 A1	1, 3

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
01 September, 2005 (01.09.05)Date of mailing of the international search report
20 September, 2005 (20.09.05)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/010520

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2002-164621 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 07 June, 2002 (07.06.02), Par. Nos. [0023] to [0032]; Figs. 1 to 2 & US 2002/0101899 A1 & US 6700914 B2 & DE 10126307 A1	1, 3
Y	Tansu, N. et al., Low-Temperature Sensitive, Compressively Strained InGaAsP Active ($\lambda=0.78-0.85\mu\text{m}$) Region Diode Lasers, IEEE Photonics Technology Letters, (2000) Vol.12, No.6, pages 603 to 605	2, 4-10
Y	JP 2003-78208 A (Toshiba Corp.), 14 March, 2003 (14.03.03), Par. No. [0086] & US 2003/0043875 A1	7, 9
Y	JP 2000-312054 A (Sharp Corp.), 07 November, 2000 (07.11.00), Par. No. [0063] & US 6541297 B2	7, 9
Y	JP 2000-294877 A (NEC Corp.), 20 October, 2000 (20.10.00), Par. Nos. [0005], [0028] (Family: none)	7, 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/010520

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

See the "continuation of Box No.III" on the extra sheets.

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.: 1 - 10

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/010520

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet(2)

The technical matter, i.e., that the surface emitting laser diode defined in claim 1 "comprising:

a resonator region composed of a semiconductor substrate, an active layer which includes at least one quantum well layer emitting a laser beam and a barrier layer and a spacer layer which is provided near the active layer and made of at least one material and provided over a semiconductor substrate and upper and lower reflectors respectively provided over and below the resonator region over the semiconductor substrate, wherein the resonator region and the upper and lower reflectors constitute a mesa structure over the semiconductor substrate, each of the upper and lower reflectors constitutes a semiconductor distribution Bragg reflector having a periodically varying refractive index and reflecting the incident light by light wave interference, at least a part of each semiconductor distribution Bragg reflector is composed of a layer made of $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x \leq 1$) and having a small refractive index and a layer made of $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ ($0 \leq y < x \leq 1$) and having a large refractive index, and one of the layers constituting the resonator region contains In" is not novel since it is disclosed in document 1.

Document 1: JP 2001-60739 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 6 March, 2001 (06.03.01), [0018]-[0022], [0025], Fig. 1 (Family: none)

Therefore, the "special technical feature" of claims 1-10 is that "the lower reflector is composed of a first lower reflector having a low refractive index layer made of AlAs and a second lower reflector provided over the first lower reflector and having a low refractive index layer made of AlGaAs". (Invention 1)

The "special technical feature" of claim 11-13 is that "a part of the spacer layer is made of $(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})_b\text{In}_{1-b}\text{P}$ ($0 < a \leq 1$, $0 \leq b \leq 1$), the quantum well active layer is made of $\text{Ga}_c\text{In}_{1-c}\text{P}_d\text{As}_{1-d}$ ($0 \leq c \leq 1$, $0 \leq d \leq 1$), and the barrier layer is made of $\text{Ga}_e\text{In}_{1-e}\text{P}_f\text{As}_{1-f}$ ($0 \leq e \leq 1$, $0 \leq f \leq 1$), the quantum well active layer has compression strain, and the active layer has a shape anisotropy long in the (111)A direction when viewed from the light exit direction. (Invention 2)

The "special technical feature" of claim 14 is that the step of forming a mesa structure by dry etching includes a substep of controlling the height of the mesa structure by monitoring the light emission of In". (Invention 3)

The "special technical feature" of claim 15-19 is that "a semiconductor layer containing as main components Al, In, P is formed in contact with a semiconductor layer containing as main components Al, Ga, As between the active layer and the semiconductor layer containing as main components Al, Ga, As, and the interface between the semiconductor layer containing as main components Al, Ga, As and the semiconductor layer containing as main components Al, In, P is formed in agreement with the position of the node of the electric field intensity distribution". (Invention 4)

The "special technical feature" of claim 20-22 is that "an $(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})_b\text{In}_{1-b}\text{P}$ ($0 < a \leq 1$, $0 \leq b \leq 1$) layer containing as main components Al, In, P is formed in contact with a semiconductor layer containing as main components Al, Ga, As (Continued to next page)

between the active layer and the semiconductor layer containing as main components Al, Ga, As, and Mg (magnesium) is added as a p-type dopant to the $(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})_b\text{In}_{1-b}\text{P}$ ($0 < a \leq 1$, $0 \leq b \leq 1$) layer, and C (carbon) is added as a p-type dopant to the semiconductor layer containing as main components Al, Ga, As". (Invention 5)

The "special technical feature" of claim 24-27 is that "an $(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})_b\text{In}_{1-b}\text{P}$ ($0 < a \leq 1$, $0 \leq b \leq 1$) layer containing as main components Al, In, P is formed in contact with a semiconductor layer containing as main components Al, Ga, As between the active layer and the semiconductor layer containing as main components Al, Ga, As, and the $(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})_b\text{In}_{1-b}\text{P}$ ($0 < a \leq 1$, $0 \leq b \leq 1$) layer is a semiconductor layer having a short period superlattice structure composed of AlInP and GaInP. (Invention 6)

The "special technical feature" of claim 28-35 is that at least the low refractive index layer nearest to the active layer out of the low refractive index layers constituting the upper and/or lower reflector is made of $(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})_b\text{In}_{1-b}\text{P}$ ($0 < a \leq 1$, $0 \leq b \leq 1$), and the interface between the resonator region and the low refractive index layer nearest to the active layer of the upper and/or lower reflector agrees with the node of the electrical field intensity distribution". (Invention 7)

Since there is no technical feature common to these seven inventions, and no technical relationship within the meaning of PCT Rule 13 can be seen.

Consequently, claims 1-35 does not comply with the requirement of unity of invention.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ H01S5/183

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ H01S5/00-5/50

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JSTPlus (JOIS)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2001-60739 A (日本電信電話株式会社) 2001.03.06, 【0018】 - 【0022】, 【0025】, 図1 (ファミリーなし)	1-10
Y	JP 11-312847 A (日本電信電話株式会社) 1999.11.09, 【0039】 - 【0040】, 図2 & US 2003/0156613 A1 & US 6549553 B1 & EP 939471 A1	1, 3

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

01.09.2005

国際調査報告の発送日

20.09.2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

門田 かづよ

電話番号 03-3581-1101 内線 3255

2K

9512

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2002-164621 A (古河電気工業株式会社) 2002. 06. 07, 【0023】 - 【0032】, 図 1-2 & US 2002/0101899 A1 & US 6700914 B2 & DE 10126307 A1	1, 3
Y	Tansu, N., et. al.,, Low-Temperature Sensitive, Compressively Strained InGaAsP Active ($\lambda=0.78-0.85\mu\text{m}$) Region Diode Lasers, IEEE Photonics Technology Letters, (2000) Vol.12, No.6, pages 603-605	2, 4-10
Y	JP 2003-78208 A (株式会社東芝) 2003. 03. 14, 【0086】 & US 2003/0043875 A1	7, 9
Y	JP 2000-312054 A (シャープ株式会社) 2000. 11. 07, 【0063】 & US 6541297 B2	7, 9
Y	JP 2000-294877 A (日本電気株式会社) 2000. 10. 20, 【0005】, 【0028】 (ファミリーなし)	7, 9

第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2. ☐ 請求の範囲 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

特別ページの「第Ⅲ欄の続き」を参照のこと。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

請求の範囲 1-10

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。
☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。

第 III 欄の続き

請求の範囲 1 に記載された面発光レーザダイオードにおいて、
‘半導体基板と、レーザ光を発生する少なくとも 1 層の量子井戸層および障壁層を含む活性層と、前記活性層の近傍に設けられ、少なくとも 1 種類の材料よりなるスペーサ層とよりなり、前記半導体基板上に形成された共振器領域と、前記半導体基板上において前記共振器領域の上部および下部に設けられた上部反射鏡および下部反射鏡と、よりなる面発光レーザダイオードであって、前記共振器領域、前記上部反射鏡および前記下部反射鏡は、前記半導体基板上においてメサ構造を形成し、前記上部反射鏡および下部反射鏡は、屈折率が周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡を構成し、前記半導体分布ブラッグ反射鏡の少なくとも一部は、 $Al_xGa_{1-x}As$ ($0 < x \leq 1$) よりなる屈折率が小なる層と、 $Al_yGa_{1-y}As$ ($0 \leq y < x \leq 1$) よりなる屈折率が大なる層とから構成され、前記共振器を構成するいずれかの層は、In を含んでいる’ という事項は、文献 1 に開示されているから、新規ではない。

文献 1: J P 2001-60739 A (日本電信電話株式会社)
2001. 03. 06, [0018] - [0022], [0025], 図 1 (ファミリーなし)

したがって、請求の範囲 1-10 における‘特別な技術的特徴’は、‘下部反射鏡は、低屈折率層が AlAs よりなる第 1 下部反射鏡と、第 1 下部反射鏡の上に形成され、低屈折率層が AlGaAs よりなる第 2 下部反射鏡とから構成され’ることである。(発明 1)

また請求の範囲 11-13 における‘特別な技術的特徴’は、‘前記スペーサ層の一部は $(Al_aGa_{1-a})bIn_{1-b}P$ ($0 < a \leq 1$, $0 \leq b \leq 1$) よりなり、前記量子井戸活性層は $GacIn_{1-c}PdAs_{1-d}$ ($0 \leq c \leq 1$, $0 \leq d \leq 1$) よりなり、前記障壁層は $GaeIn_{1-e}PfAs_{1-f}$ ($0 \leq e \leq 1$, $0 \leq f \leq 1$) よりなり、前記量子井戸活性層は圧縮歪を有しており、前記活性層は、光出射方向から見て (111) A 面方向に長い形状異方性を有する’ことである。(発明 2)

請求の範囲 14 における‘特別な技術的特徴’は、‘ドライエッチングによりメサ構造を形成する工程は、In の発光をモニタすることにより前記メサ構造の高さを制御する工程を含む’ことである。(発明 3)

請求の範囲 15-19 における‘特別な技術的特徴’は、‘前記活性層と Al, Ga, As を主成分として含む半導体層との間に、前記 Al, Ga, As を主成分として含む半導体層に接して、Al, In, P を主成分として含む半導体層を設け、前記 Al, Ga, As を主成分として含む半導体層と前記 Al, In, P を主成分として含む半導体層との界面が、電界強度分布の節の位置に一致して形成された’ことである。(発明 4)

請求の範囲 20-22 における‘特別な技術的特徴’は、‘前記活性層と Al, Ga, As を主成分として含む半導体層との間に、前記 Al, Ga, As を主成分として含む半導体層に接して、Al, In, P を主成分として含む $(Al_aGa_{1-a})bIn_{1-b}P$ ($0 < a \leq 1$, $0 \leq b \leq 1$) 層を設け、前記 $(Al_aGa_{1-a})bIn_{1-b}P$ ($0 < a \leq 1$, $0 \leq b \leq 1$) 層には、p 型ドーパントとして Mg (マグネシウム) が添加され、前記 Al, Ga, As を主成分として含む半導体層には、p 型ドーパントとして C (炭素) が添加されている’ことである。(発明 5)

請求の範囲 24-27 における‘特別な技術的特徴’は、‘前記活性層と Al, Ga, As を主成分として含む半導体層との間に、Al, Ga, As を主成分として含む半導体層に接して、Al, In, P を主成分として含む $(Al_aGa_{1-a})bIn_{1-b}P$ ($0 < a \leq 1$, $0 \leq b \leq 1$) 層を設け、 $(Al_aGa_{1-a})bIn_{1-b}P$ ($0 < a \leq 1$, $0 \leq b \leq 1$) 層は、AlInP と GaInP とよりなる短周期超格子構造により構成された半導体層であること’である。(発明 6)

請求の範囲 28-35 における '特別な技術的特徴' は、'前記上部反射鏡および／または下部反射鏡を構成する前記低屈折率層のうちで少なくとも前記活性層に最も近い低屈折率層は、 $(A1aG a1-a) b I n1-bP$ ($0 < a \leq 1$ 、 $0 \leq b \leq 1$) よりなり、前記共振器領域と前記上部反射鏡および／または下部反射鏡の活性層に最も近い低屈折率層との界面に、電界強度分布の腹が一致する' ことである。(発明 7)

これら 7 つの発明に共通の事項はなく、PCT 規則 13 の意味における技術的な関連を見いだすことはできない。

よって、請求の範囲 1-35 は発明の単一性の要件を満たしていない。